

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND LXXIII.

I. *Betrachtungen über die Vorgänge im galvanischen Strom; von J. C. Poggendorff.*

(Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 25. November.)

Die nachfolgenden Betrachtungen wurden veranlaßt durch ein Paar Versuche, die ich anstellte, um mich über einige Fragen in Betreff der Wärmeentwicklung des galvanischen Stroms durch eigene Erfahrung zu belehren. Sie erheben keine größeren Ansprüche als ihnen ihrer Natur nach zukommen kann, und würden ihren Zweck auch dann als erfüllt ansehen, wenn eine experimentelle Prüfung der durch sie angeregten Gegenstände ein anderes als das erwartete Resultat geben sollte.

Wie bekannt sind die Wärmewirkungen der galvanischen Elektricität erst vor wenigen Jahren genauer erforscht. Zu einer Zeit, da auch ich mit dem Plane umging, diesen bis dahin sehr vernachlässigten Zweig des Galvanismus näher in Untersuchung zu ziehen, im J. 1841, ist Hr. Joule, bei Manchester, so glücklich gewesen, das Grundgesetz der Erscheinungen aufzufinden. Durch Temperaturmessungen an Drähten und Flüssigkeiten, die von Strömen verschiedener Stärke durchflossen wurden, gelangte derselbe nämlich zu dem Resultat, dass die Wärmemenge, welche in einem Theil der galvanischen Kette, sey er starr oder flüssig, innerhalb einer bestimmten Zeit entwickelt wird, proportional ist dem Product:

$$i^2 r,$$

d. h. dem Quadrat der Stromstärke, multiplicirt mit dem Widerstand dieses Theils der Kette¹⁾); — während früher einige Physiker, namentlich Ohm²⁾, Fechner³⁾, Vors-

1) *Philosoph. Magazine*, 1841, Vol. XIX., p. 260.

2) *Kastner's Archiv*, 1829, Bd. XVI., S. 1.

3) *Lehrbuch d. Galvanismus*, 1829, S. 317.

selman de Heer¹), freilich ohne thatsächliche Stütze, die Meinung aussprachen, sie gehe einfach der Stromstärke proportional, eine Meinung, von der sich indes schon einige beiläufig von de la Rive²), Peltier³) und W. Weber⁴) angestellte Messungen merklich zu entfernen schienen.

Die Apparate und Messweisen, welche Joule anwandte, sind nur roh, und können für das aufgestellte Gesetz kein volles Vertrauen erwecken, ungeachtet er später ein ähnliches für den magneto-elektrischen Strom nachgewiesen hat⁵); allein das Gesetz ist bald hernach einerseits für Flüssigkeiten durch E. Becquerel⁶), und andererseits für starre Leiter durch die sorgsamen Messungen von Lenz⁷), in dem Grade bestätigt worden, dass sich seine Richtigkeit nicht bezweifeln lässt, um so mehr als es *mutatis mutandis* ganz mit dem zusammenfällt, welches schon mehrere Jahre früher die schönen Untersuchungen von Rieß für die Entladungen der Reibungselektricität dargethan haben⁸).

Es liegt wohl auf der Hand den Schluss zu ziehen, wie es auch von Joule geschehen ist, dass wenn das Gesetz sich für einen Theil der Kette bewährt, es auch für die ganze Ausdehnung derselben gültig seyn müsse. Dieser Schluss ist freilich noch nicht experimentell bestätigt worden (was in directer Weise auch grosse Schwierigkeiten haben würde), und er kann daher Bedenken erregen, zumal ihm einige Erfahrungen zu widersprechen scheinen. So weiss

1) Annal., 1839, Bd. 46, S. 513 u. Bd. 48, S. 292.

2) *Annales de chim. et de phys.*, 1836, T. LXII., p. 193. (Annal. Bd. 40, S. 527.)

3) *Ann. de chim. et de phys.*, 1836, T. LXIII., p. 249.

4) Resultate des magnet. Vereins, 1840, S. 89.

5) *Philosoph. Magazine*, 1843, Vol. XXIII., p. 265, 347, 435.

6) *Ann. de chim. et de phys.*, 1843, T. IX., p. 21.

7) *Bullet. phys. mathem. de l'acad. de St. Petersb.*, 1843, T. II., p. 161. (Ann., Bd. 61, S. 18.)

8) Ann., 1837, Bd. 40, S. 335, und 1838, Bd. 43, S. 47 und Bd. 45, S. 1.

man durch Peltier, dass an den Berührungs punkten starker Leiter, die vom galvanischen Strom durchflossen werden, besondere Wärmephänomene auftreten, die einen thermo-elektrischen Gegenstrom erzeugen; und eben so ist bekannt, dass bei der galvanischen Wasserzersetzung die Elektroden in ungleichem Maasse erwärmt werden.

Allein ich halte es nicht für glaublich, dass die Verallgemeinerung des Joule'schen Gesetzes durch diese Erscheinungen beeinträchtigt werde. Denn was zunächst die ungleiche Erwärmung der Elektroden bei der Wasserzersetzung betrifft, so ist sie, wenigstens der Hauptsache nach, offenbar eine secundäre Wirkung, hervorgebracht durch die Vergasung der ausgeschiedenen Stoffe, wie daraus erheilt, dass sich die Platte, an der das Wasserstoffgas, also das grössere Gasvolum, entwickelt wird, weniger erwärmt, als die andere, welche das Sauerstoffgas ausgiebt, wovon ich mich selbst überzeugt habe.

Anlangend zweitens das Peltier'sche Phänomen, so ist es mehr als wahrscheinlich, dass es auf die Wärmeerregung der gesamten Kette keinen Einfluss hat, denn die überschüssige Temperaturerhöhung, die an einem Wechelpunkt der Leiter entsteht, ist vermutlich eben so gross als die Temperaturerniedrigung, die factisch an dem nächstfolgenden Wechelpunkt stattfindet, falls sich daselbst Leiter der nämlichen Art berühren. Selbst wenn in dem metallischen Bogen der Kette mehr als zwei heterogene Leiter mit einander abwechseln sollten, ist ein analoges Verhalten zu erwarten, da schon nach älteren Versuchen von Bequerel sen.¹⁾ die thermo-elektrischen Erregungen ein ähnliches Gesetz zu befolgen scheinen, wie das bekannte Volta'sche der Spannungen.

Vollends endlich können diejenigen überschüssigen Wärmeentwicklungen keinen Einwand bilden, welche man an den Berührungs punkten von Leitern gleicher Art bemerkt hat, z. B. an den Punkten, wo die Glieder einer aus Draht ge-

1) *Annales de chimie et de physique*, T. XLI, p. 333. (Ann. Bd. 17, S. 535.)

bildeten Kette lose in einander hängen, oder an Flüssigkeiten, die durch poröse Zwischenwände in Zellen getheilt sind¹); denn offenbar ist an solchen Punkten, wegen mangelhafter oder eingeschränkter Berührung, der Widerstand grösser als in dem ununterbrochen zusammenhängenden Theile des Leiters, und folglich ist die erhöhte Wärmeentwicklung ganz gesetznässig.

Ich werde übrigens weiterhin ein Verfahren angeben, durch welches zwar in indirekter, aber wie mir scheint, unzweifelhafter Weise dargethan werden kann, dass das Joule'sche Gesetz nicht bloß für einen Theil der Kette, sondern auch für die ganze Ausdehnung derselben gültig ist. Es wird also die gesamme Wärmemenge w , welche eine Volta'sche Kette innerhalb einer zur Einheit angenommenen Zeit entwickelt, ebenfalls durch den früheren Ausdruck:

$$w = i^2 r \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

vorgestellt seyn, sobald r den gesammten Widerstand der Kette bezeichnet.

Combinirt man diesen Ausdruck mit der bekannten Ohm'schen Formel: $ir = k$, so erhält man noch die folgenden:

$$w = ik \quad \dots \dots \dots \quad (2),$$

$$w = \frac{k^2}{r} \quad \dots \dots \dots \quad (3),$$

welche beide auch schon von Joule, nur anders ausgesprochen und freilich ohne Beweise, gegeben worden sind.

Betrachtet man unter diesen Ausdrücken zuvörderst den zweiten, so sagt also derselbe, dass bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft (k), mithin bei Ketten derselben Art, die gesamme Wärmemenge direct proportional ist der Stromstärke i oder, was dasselbe ist, direct proportional der Menge des in derselben Zeit elektrolytisch aufgelösten Zinks oder sonstigen positiven Metalls.

Dieses für die chemische Theorie scheinbar so günstige Resultat, ist neuerdings noch von Botto hervorgehoben

1) *De la Rive, Bibl. univers., T. XL., p. 40. (Ann. Bd. 15, S. 257.)*

worden¹⁾), aber derselbe hat unbemerkt gelassen, dass sich die Sache ganz anders gestaltet, wenn man die Stromstärke constant setzt, und die elektromotorische Kraft variabel nimmt. Dann ist die gesammte Wärmemenge, welche die Kette in einer bestimmten Zeit entwickelt, proportional dieser Kraft, und folglich kann sie in Ketten verschiedener Art bei einer und derselben Menge von elektrolytisch aufgelöstem Zink sehr ungleich seyn.

Es war gerade dieser eben so interessante als für die Theorie vom Ursprunge des Galvanismus wichtige Satz, welcher besonders meine Aufmerksamkeit erregte. Ungeachtet er klar aus den Prämissen hervorgeht, schien es mir doch nicht überflüssig, denselben nochmals einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen, um so jeden Zweifel an seiner Richtigkeit niederzuschlagen.

Eine solche Prüfung ist offenbar am einfachsten gemacht, wenn man Ströme von gleicher Stärke, aber von ungleicher elektromotorischer Kraft successive durch einen bestimmten Leiter fliesen lässt, und die in demselben in einer gewissen Zeit entwickelte Wärmemenge misst. Findet sich, dass diese Wärmemenge gleich ist, so folgt nothwendig, dass die Wärmemenge, welche von den gesammten Ketten dieser Ströme entwickelt wird, ungleich ist, sich verhält wie die elektromotorischen Kräfte; denn in Ketten verschiedener Art stehen bekanntlich, bei gleicher Stromstärke, die gesammten Widerstände im geraden Verhältniss zu eben diesen Kräften.

Will man die Prüfung mit Rücksicht auf die Erregungsweise des Galvanismus vornehmen, so darf man jedoch nicht die Abänderung der elektromotorischen Kraft des Stroms etwa dadurch bewerkstelligen, dass man successive eine verschiedene Zahl von einfachen Ketten gleicher Art hinter einander reiht, denn dabei würde man die Menge des bei gleicher Stromstärke innerhalb einer bestimmten Zeit elektrolytisch gelösten Zinks in gleichem Maafse steigern wie die elektromotorische Kraft; sondern man ist genötigt, die

1) *Archiv de l'électricité, T. V., p. 353.*

elektromotorische Kraft von Ketten verschiedener Art in gleicher Anzahl anzuwenden, wo dann diese Kraft, bei gleicher Stromstärke, nicht mehr im geraden Verhältniss zum elektrolytischen Zinkverbrauche steht.

Zu meinen Messungen habe ich eine *Grove'sche* und eine *Daniell'sche* Batterie angewandt, jede aus zwei Elementen bestehend. Ich leitete successive den Strom beider Batterien durch einen dünnen Platindraht, der sich in einem thermometerartigen, mit Alkohol gefüllten Gefäſſe spiralförmig aufgerollt befand, brachte Sinusbusssole und Rheochord mit in den Kreis, und ermittelte durch vorläufige Versuche den Widerstand des Thermometerdrahts und somit die Drahtlängen, welche vom Rheochord einzuschalten waren, um den Strom in beiden Fällen von gleicher Stärke zu erhalten.

Nachdem dieses ermittelt worden, wurde an andern Tagen, da das Elektrothermometer auf die während der ganzen Zeit fast unveränderliche Temperatur des Zimmers herabgekommen war, der eigentliche Versuch begonnen, darin bestehend, dass ich den Strom der einen und der anderen Batterie 15 Minuten lang durch das Thermometer gehen ließ und den Stand desselben von 5 zu 5 Minuten beobachtete. Ich gebrauchte auch die Vorsicht, die kleinen Abnahmen der Stromstärke, welche aus der Erwärmung des dünnen Platindrahts und dadurch bewirkten Erhöhung seines Widerstands erfolgten, fortwährend durch die Scheibe des Rheochords zu compensiren, so dass der Strom während der ganzen Zeit sehr nahe absolut dieselbe Stärke behielt.

Das Resultat mehrmals wiederholter Versuche dieser Art bestand nun darin, dass das Thermometer, von gleichen Ausgangspunkten an, in gleichen Zeiten um gleichviel stieg, welchen der beiden Ströme ich auch anwenden mochte.

Beide Ströme entwickelten also in einem und demselben Stück ihrer Ketten dieselbe Wärmemenge, mussten also in der ganzen Ausdehnung ihrer Ketten Wärmemengen erregen, welche so verschieden waren, als ihre gesammten Widerstände oder ihre elektromotorischen Kräfte. Schon

ein Vergleich der Drahtlängen, welche nöthig waren, um die Ströme beider Batterien auf gleiche Stärke zu halten, und welche bei der Grove'schen 52, bei der Daniell'schen nur 28 Zoll meines Mefsdrahtes betragen, zeigte augenfällig, dass die erstere Batterie in Summa bedeutend mehr Wärme entwickelte als die letztere.

Diese Messungen bestätigen also vollkommen das für die Theorie vom Ursprunge der galvanischen Elektricität so wichtige Resultat, dass die gesammte Wärmemenge, welche eine galvanische Kette in bestimmter Zeit entwickelt, nicht allein abhängt von der in dieser Zeit elektrolytisch verbrauchten Menge des positiven Metalls, sondern zugleich von dieser und der elektromotorischen Kraft.

Ein anderes Resultat, welches aus den beiden Ausdrücken $w = ik$ und $w = \frac{k^2}{r}$ mit gleicher Ersichtlichkeit hervorgeht, besteht darin, dass die gesammte Wärmemenge, welche eine Volta'sche Kette innerhalb einer bestimmten Zeit entwickeln kann, keine constante Grösse ist, wie es noch Pouillet glaubte¹⁾, auch keine, die ein Maximum hat, sondern eine, die über alle Gränzen hinaus zu wachsen vermag, in dem Maasse als man den gesammten Widerstand verringert und demgemäss die Stromstärke erhöht.

Ein Maximum findet bei der Wärmeentwicklung nur statt, wenn man sie für ein gewisses und zwar veränderliches Stück der Stromesbahn in Betracht zieht. Ist z. B. $r + r'$ der Widerstand der Kette, so hat man für die Wärmeentwicklung w der gesammten Kette und für die Wärmeentwicklung w' in dem Stück vom Widerstände r' die Ausdrücke:

$$w = \frac{k^2}{r + r'}; \quad w' = \frac{k^2}{r + r' / (r + r')}$$

von denen der erste kein Maximum hat, der zweite aber zu einem Maximo gelangt, wenn $r' = r$, wo dann $i = \frac{k}{2r}$.

1) Annal. Bd. 42, S. 296.

Dieser Satz ist einer experimentellen Prüfung fähig, und liefert dadurch ein äußerst schätzbares Mittel, die Richtigkeit des Joule'schen Gesetzes für die gesammte Kette zu beweisen, was sonst so gut wie unmöglich seyn dürfte.

Ich habe daher diese Prüfung unternommen und zwar folgendermaßen. In das Thermometer, dessen Einrichtung ich am Schlusse dieses Aufsatzes näher angeben werde, schaltete ich gleichzeitig drei dünne Platindrähte ein, deren Längen sich wie 1 : 2 : 3 verhielten. Den Widerstand des mittleren, der etwa 5 par. Zoll lang war, bestimmte ich; er betrug 18,12 par. Zoll meines Mefsdrahts. Eben so bestimmte ich den wesentlichen Widerstand der Grove'schen Kette, welche die Wärme entwickeln sollte; er fand sich = 4,32 par. Zoll des Mefsdrahtes. Diesem fügte ich noch 13,80 Zoll desselben Drahtes hinzu, damit der außerhalb des Thermometers befindliche Widerstand der Kette dem des mittleren Platindrähtes in dem Thermometer gleich wäre. Endlich verknüpfte ich die so regulirte Kette successive mit den drei Platindrähten des Thermometers, und ließ den Strom jedes Mal fünf Minuten wirken, unter Zwischenzeiten von solcher Dauer, daß das Thermometer immer sehr nahe auf seinen anfänglichen Standpunkt zurückkam, wozu meistens eine halbe Stunde ausreichte.

Das Resultat dieser drei Versuche war nun folgendes. Es stieg das Thermometer, dessen Scale übrigens eine willkürliche ist, mit dem Draht

von der Länge 1 oder dem Widerstand 9,06 . . . 28pt,0

2 - - - - - 18,12 . . . 34 ,1

3 - - - - - 27,18 . . . 30 ,8

also hatte wirklich, wie es seyn müfste, der zweite Draht, dessen Widerstand dem außerhalb des Thermometers befindlichen Widerstand der Kette gleich kam, die größte Wärmemenge entwickelt.

Der Theorie nach hätten die von den drei Drähten entwickelten Wärmemengen proportional seyn müssen den Zahlen $\frac{9,06}{(27,18)^2}$, $\frac{18,12}{(36,24)^2}$, $\frac{27,18}{(45,30)^2}$, oder 122,7, 138,0,

132,5, Zahlen mit denen die beobachteten in der Hauptsache so weit übereinstimmen, dass ich es nicht für nöthig hielt, die Messungen mit Rücksicht auf die Erkaltung zu wiederholen, da eine desfallsige Berichtigung die Ordnung der Zahlen nicht verändert haben würde¹⁾.

Es ist also gewiss, dass die Wärmeentwicklung in einem Theil der Kette, unter der angegebenen Bedingung, ein Maximum hat, und damit halte ich denn auch für bewiesen, dass das Joule'sche Gesetz allgemeine Gültigkeit besitzt, folglich bei der Wärmeentwicklung der gesammten Kette kein Maximum stattfindet.

Von gewissem Standpunkt aus kann dieses Resultat wohl recht merkwürdig erscheinen; allein es verliert an Auffallendem, wenn man erwägt, dass, nach längst bekannten Gesetzen, die magnetische Gesamtwirkung der Volta'schen Kette ein ähnliches und noch merkwürdigeres Verhalten zeigt.

Der magnetische Effect eines galvanischen Stroms ist in jedem Querschnitt seiner Bahn gleich gross, proportional der Stromstärke i . Die Gesamtwirkung der Kette ist also gleich dem Effect eines Querschnitts, multiplizirt mit der Summe aller Querschnitte, d. h. mit der gesammten Länge l der Kette, folglich proportional dem Product il .

Denkt man sich, der Einfachheit wegen, alle Querschnitte gleich gross und aus Material von gleicher Leitungsfähigkeit gebildet, so ergiebt sich, mit Hülfe der bekannten Ohm'schen Formeln:

$$i = \frac{k}{r}, \quad r = \frac{cl}{s},$$

für den magnetischen Totaleffect der ihm proportionale Ausdruck:

$$m = il = \frac{ks}{c}.$$

Aus diesem geht hervor:

1) Wenn s (der Querschnitt) und c (der Widerstand

- 1) Es wäre interessant zu wissen, was für Resultate ein ähnlicher Versuch, wie der hier beschriebene, bei den Entladungen der elektrischen Batterie ergäbe.

für die Einheit der Dimensionen oder die reciproke Leistungsfähigkeit) constante Größen sind, oder sich in gleichem Verhältniss ändern, so ist m für eine und dieselbe Kraft k eine constante Größe;

2) wenn aber s wächst und c abnimmt, oder das Verhältniss von s zu c wächst, so wächst auch m und zwar über alle Gränzen hinaus.

In beiden Fällen hängt, wie man sieht, die magnetische Gesammtwirkung einer Kette durchaus nicht von der Stromstärke ab, da man diese durch eine gehörige Vergrößerung der Länge der Kette immer auf ein beliebiges Minimum herabsetzen kann.

Hiedurch stellt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen dem thermischen und dem magnetischen Totaleffect ein. Beide können, bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft, ins Unendliche wachsen; allein der erstere kann es nur, wenn die Stromstärke in gleichem Maafse zunimmt, während der letztere von dieser ganz unabhängig ist. Bei gleicher Stromstärke, ja bei gleicher Kraft, kann dieser in verschiedenen Ketten sehr ungleich seyn, je nachdem s und c es sind, und anderseits kann er in einer und derselben Kette bei constanter und sehr kleiner Stromstärke ins Unbegrenzte wachsen, wenn nur l und s in gleichem Maafse zunehmen.

Es ist dies besonders merkwürdig in Bezug auf den Ursprung der galvanischen Elektricität, denn man sieht, dass der magnetische Totaleffect, den eine Kette in einer bestimmten Zeit auszuüben vermag, durchaus nicht abhängt von der in dieser Zeit elektrolytisch gelösten Zinkmenge. Eine sehr geringe Menge Zink ist im Stande, einen sehr großen magnetischen Effect hervorzubringen. Das constante Verhältniss zwischen gelöster Zinkmenge und magnetischer Wirkung, welches man beobachtet hat, findet nur statt, wenn Ein Querschnitt oder eine constante Summe von Querschnitten, d. h. ein constantes Längenstück der Kette, in Betracht gezogen und mit dem elektrolytischen Proces verglichen wird¹⁾.

1) Der Einfachheit wegen ist in dem Obigen vorausgesetzt, dass die Kette

Von dem *chemischen Totaleffect* der Volta'schen Kette gilt, ideell genommen, offenbar dasselbe, und es würde auch reell von ihm gelten, wenn wir im Stande wären, den Ef-

in ihrer ganzen Ausdehnung gleiche Querschnitte besitze, und es ist auch, was bei dieser Betrachtung nothwendig war, der magnetische Effect der Flüssigkeit mit in Rechnung gezogen. Es wird jedoch im Wesentlichen nichts geändert, wenn man bloß den magnetischen Effect des Schleifdrahts, als des zur practischen Benutzung alleinig anwendbaren Theils der Kette, ins Auge fasst und die Bedingung der Querschnitte fallen lässt.

Sey nämlich die elektromotorische Kraft einer Kette $= k$, die Anzahl derselben in einer Batterie $= n$, der wesentliche Widerstand einer jeden $= r$, der Widerstand des Schleifdrahts $c \frac{l}{s}$, so hat man für die Stromstärke i und den magnetischen Effect m dieses Drahts die Ausdrücke:

$i = \frac{nk}{nr + c \frac{l}{s}}$; $m = il = \frac{k}{r + \frac{c}{s} \frac{l}{n}}$,
oder wenn man sich r durch einen Draht vom Widerstande $\frac{c\lambda}{s}$ ersetzt denkt:

$i = \frac{nk}{\frac{c}{s}(n\lambda + l)}$; $m = il = \frac{k}{\frac{c}{s}(\frac{\lambda}{l} + \frac{1}{n})}$.

Auch hier hat m kein Maximum, sondern wächst mit l bis dieses gegen r oder λ unendlich, oder die Stromstärke i Null geworden ist, so gut wie mit s und n . Sind letztere Größen constant oder ist ihr Product constant, so geht m , mit Verlängerung von l , dem Gränzwerth $= \frac{nks}{c}$ entgegen, während es andererseits, bei constanter Länge von l , seinen Werth nicht ändert, sobald n und s im umgekehrten Verhältnisse variiren.

Der magnetische Totaleffect der ganzen Batterie, mit Einschluß der Flüssigkeit und Platten, ist endlich:

$$i(n\lambda + l) = \frac{nks}{c},$$

dem also der Effect des Schleifdrahts unter der angegebenen Bedingung mit verlängertem l immer näher und näher kommt.

Ich bin auf den Einwurf gefaßt, daß das eben Gesagte nicht neu sey. Ich weiß, daß Aehnliches gesagt worden ist, bin auch überzeugt, daß es Denen, die mit den Grundsätzen des Galvanismus wohl vertraut sind, nicht gesagt zu werden braucht. Allein es ist mir auch bekannt, daß trotz der werthvollen Arbeiten, die in diesem Gebiete, besonders

fect eines jeden Querschnitts zu versichtbaren und zu benutzen. Dass wir es nicht vermögen, liegt zuvörderst an der elektromotorischen Gegenkraft, die aus der Polarisation

von Jacobi und Lenz, geliefert worden sind, sehr irrite Begriffe angetroffen werden, und namentlich missverstandene Ansichten über die Maxima, die doch beim magnetischen und *caeteris paribus* beim magnetisirenden Effect der galvanischen Kette immer nur unter gewissen einschränkenden Bedingungen stattfinden, schon mehr als einmal zu ganz fehlerhaft versuchten Nutzanwendungen der mechanischen Kraft des Stromes geführt haben.

Es ist keineswegs meine Absicht mich hier auf diese Nutzanwendungen einzulassen, aber ich kann die Bemerkung nicht unterdrücken, dass die mir bekannten Bestrebungen dieser Art es schon darin verschen haben, dass sie am unrechten Ende zu sparen suchten. Wenn überhaupt die mechanische Kraft der galvanischen Elektricität einer technischen Benutzung fähig ist, so steht sie in vortheilhafter Weise nur zu erwarten von einem Strom, der so geschwächt worden ist, dass er bei wochenlanger Unterhaltung weder die Kette verdirbt, noch bedeutende Kosten verursacht; und dies wird nur durch Anwendung einer sehr grossen Drahtmasse erreicht. Mir ist kein Versuch bekannt, wo dieser Grundsatz richtig befolgt worden wäre.

Um an einem Beispiele zu zeigen, welche Drahtmassen man anwenden müsste, um mit einer kleinen Stromstärke einen grossen magnetischen Effect zu erreichen, will ich den Fall setzen, man habe eine einfache Grove'sche Kette von der geringen Grösse der meinigen und wolle durch einen Kupferdraht von 2 par. Linien Dicke den Strom so schwächen, dass seine Stärke der Entwicklung von einem Cubiccentim. Knallgas, bei 0° und $0^{\text{m}},76$, in der Minute entspreche.

Der wesentliche Widerstand dieser Kette beträgt 3,6 Zoll meines neusilbernen Messdrahts und ihre elektromotorische Kraft sey hier nur gleich 30 meiner Einheit gesetzt, obwohl sie mit Salpetersäure von 1,34 bis 32 geht. Die Einheit meiner Stromstärke ist 14,22 Cubiccentim. Knallgas, bei 0° und $0^{\text{m}},76$, in der Minute. Es muss also, damit die gestellte Bedingung:

$$i = \frac{30 \times 14,22}{3,6 + x} = 1$$

erfüllt werde, x oder die hinzuzusetzende Länge des neusilbernen Messdrahts 423 par. Zoll betragen. Nun besitzt ein Pfund Kupferdraht von 2 par. Linien Dicke eine Länge von 10,06 par. Fuß und der Widerstand dieses Pfundes beträgt, nach anderweitigen Messungen, die von mir an einem dünnen Kupferdraht angestellt wurden, nur 0,09255 par. Zoll des Messdrahtes. Es ist also von dem 2 Linien dicken Kupferdraht eine Länge von 46000 par. Fuß oder ein Gewicht von 4570 Pfund erforderlich.

der in die Flüssigkeit tauchenden Elektroden entspringt und meistens zu gross ist, als dass wir, in Bezug auf *ein* wirk-sames Plattenpaar, mehr als ein einziges Paar Querschnitte der Kette zur chemischen Wirkung benutzen können.

Es giebt jedoch Fälle, wie ich schon im Jahr 1842 in einem kleinen Aufsatz hervorgehoben habe ¹⁾), in welchen sich die Zahl der chemisch wirkenden Querschnitte vergrößern lässt; und diese Fälle treten ein, wenn man die Zersetzung des Wassers oder einer Metalllösung zwischen leicht oxydabaren Elektroden vornimmt. Ich habe namentlich gezeigt, dass man, wenn man in den Kreis einer kleinen Grove'schen Batterie von zwei Elementen, successive zwei, drei, vier, fünf und mehre Paare von Zinkelektroden einschaltet, eben so viele gleichzeitige Wasserzersetzungsergebnisse mit Vermehrung dieser Paare die Stromstärke freilich abnimmt, die Summe des chemischen Effects der Batterie aber fortwährend steigt, so dass zwischen dieser und der in der Batterie elektrolytisch gelösten Zinkmenge, welche nach der chemischen Theorie den Strom erzeugen soll, kein festes Verhältnis mehr vorhanden ist.

Was solche Versuche unvollständig verwirklichen, das lässt sich, scheint mir, besser schon aus einer einfachen Betrachtung entnehmen, wenn anders die herrschende Idee über den Vorgang im elektrolytischen Processe richtig ist. Allgemein wird nämlich angenommen, dass die galvanische Zersetzung einer Flüssigkeit nicht bloß an deren Enden, an den Elektroden, stattfindet, sondern durch ihre ganze Erstreckung hin, und dass sie nur deshalb im Innern der

derlich, um die Stromstärke auf den verlangten Grad von Kleinheit herabzusetzen. Wie gross der Effect dieses Drahtes unter vortheilhaftester Benutzung desselben sey, lässt sich freilich für jetzt nicht sagen, aber er kommt dem, der sich überhaupt mit Kupferdraht von angenommener Dicke erreichen lässt, sehr nahe, und so viel leuchtet ein, dass, nach der ersten allerdings höchst bedeutenden Auslage für die Kupfermasse, die Unterhaltungskosten nicht beträchtlich wären, denn es würden innerhalb 24 Stunden nur 2,8 Grm. oder 0,19 Loth Zink elektrolytisch aufgelöst werden.

1) Ann. Bd. 55, S. 289.

Massen nicht sichtbar ist, weil die in irgend einem Querschnitt von einander getrennten Bestandtheile sich unmittelbar darauf wieder mit denen vereinigen, welche in dem nächst vorderen und nächst hinteren Querschnitt denselben Proces der Sonderung erlitten. Ist diese Vorstellung richtig, wie sich wohl kaum bezweifeln lässt, so braucht man also nur in ringförmige Rinnen von verschiedener Größe, die mit gesäuertem Wasser angefüllt sind, successiv ein zusammengelöthetes Plattenpaar zu tauchen, um experimentell den Beweis zu liefern, dass der chemische Totaleffect der Volta'schen Kette ganz denselben Gesetzen folgt wie der magnetische, abgesehen freilich davon, dass in einer gewissen Summe von Querschnitten, nämlich in den von den Metallen eingenommenen, natürlich kein chemischer Effect stattfinden kann').

Es liegt so sehr im Geiste der Physik, überall nach den Ursachen der Erscheinungen zu forschen, dass es wohl nicht tadelnswerth erscheinen kann, einen Versuch zur Beantwortung der Frage zu machen, woher die Verschiedenheit entspringe, die sich bei der Volta'schen Kette zwischen den Gesetzen ihrer thermischen Wirkung und denen ihrer magnetischen und chemischen kund giebt.

Ich knüpfte diesen Versuch an bisherige Vorstellungen. Mit der Mehrzahl der heutigen Physiker nehme ich an, ohne es als ein Factum zu betrachten, dass in der galvanischen Kette ein elektrischer Strom vorhanden sey, und dass die Stärke dieses Stromes bedingt werde durch die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit jeden Querschnitt seiner Bahn durchfließt. Diese durchgegangene Elektricitätsmenge kann nicht direct bestimmt, sondern nur aus ihren

1) Verlangte man eine Kette, die durch ihre ganze Ausdehnung hin eben sowohl eine chemische als magnetische Wirkung ausübe, so könnte sie nur auf dem Wege der Induction dargestellt werden, indem man innerhalb eines Ringes von leitender Flüssigkeit, z. B. einen Magnetstab bewegte. Aber freilich würde die chemische Wirkung nur ideell existiren, ihr Totaleffect in Wirklichkeit Null seyn.

Wirkungen erschlossen werden, dieses aber, wie mir scheint, auf eine unzweifelhafte Weise.

Angenommen nämlich, man habe eine galvanische Kette von constanter Kraft; sie wird, wenn sie geschlossen ist, durch jeden Querschnitt ihres Schließdrahts in der Zeiteinheit eine gewisse und constante Elektricitätsmenge treiben. Eine zweite, dritte, vierte, u. s. w. Kette, die alle der ersten vollkommen gleich sind, werden dasselbe thun.

Verbindet man irgend zwei dieser Ketten in ihren homologen Punkten durch Querdrähte, so ist in diesen Drähten keine Spur von Strom wahrzunehmen. Die Ketten werden also nicht durch diese Verbindung in ihrer Thätigkeit gestört. Sie werden es also auch nicht, wenn man sie ihrer ganzen Länge nach Punkt für Punkt an einander gelegt denkt, Draht an Draht und Platte an Platte. Man hat dann statt der Kette von einfachem Querschnitt, eine von zwei-, drei- und vierfachem, welcher offenbar in der Zeiteinheit von der zwei-, drei- und vierfachen Elektricitätsmenge durchströmt wird.

Nun aber zeigt die Erfahrung (was vielleicht schon *a priori* zu schließen gewesen wäre), daß der magnetische oder auch chemische Effect hiebei ebenfalls zwei, drei und vier Mal größer wird. Man ist also wohl berechtigt, diesen Effect für proportional der durchgegangenen Elektricitätsmenge zu halten, und wenn dies eingeräumt wird, muß auch zugegeben werden, daß derselbe überhaupt ein unfehlbares relatives Maass für letztere sey. Man kann nicht einwerfen, daß in dem eben gewählten Beispiel ein festes Verhältnis zwischen Gröfse des Querschnitts und durchgegangener Elektricitätsmenge vorausgesetzt sey und daß der ausgesprochene Satz vielleicht bloß für einen solchen Fall gelte, denn Thatsache ist es ja, daß dies Verhältnis ohne Einfluß ist, daß in einer und derselben Kette die Gröfse des Querschnitts an verschiedenen Stellen beliebig verschieden seyn kann, und darum doch längs der ganzen Kette der magnetische Effect derselbe bleibt ').

1) Ich muß gestehen, einen Augenblick daran gezweifelt zu haben, ob

Die durch Einen Querschnitt und folglich auch durch die Summe aller Querschnitte oder die ganze Kette in der Zeiteinheit gegangene Elektricitätsmenge kann demnach durch den magnetischen Effect gemessen werden, und man hat daher für letztere Gröfse, wenn man zur Vereinfachung wiederum alle Querschnitte der Kette als gleich gross und aus gleichem Material gebildet annimmt, den früheren Ausdruck:

$$i l = \frac{ks}{c},$$

welcher zeigt, dass die bei einer Kette derselben Art durch ihre ganze Ausdehnung in der Zeiteinheit gegangene Elektricität für jede Länge l derselben constant ist, so bald es die Gröfse s des Querschnitts, und das sie andererseits im geraden Verhältnis zu dieser letzteren steht.

wirklich gleich lange, aber an Querschnitt und Leitungsfähigkeit verschiedene Stücke des Stroms einen gleichen magnetischen Effect gäben, ungeachtet diess längst als Princip anerkannt ist, und bei der Vorstellung von einem Strom sogar eine gewisse Nothwendigkeit hat. Es schien mir wenigstens der von Fechner in seinem *Mannsbestimmungen* (S. 27) beschriebene Versuch darüber keinen entscheidenden Beweis zu liefern, und deshalb eine abermalige experimentelle Prüfung keine ganz überflüssige Sache zu seyn. Ich verfuhr folgendergestalt.

Ich umgab den Rahmen eines Galvanometers mit zwei VWindungen eines Drahtstranges, gebildet aus vier dünnen, gleichlangen und mit Seide besponnenen Kupferdrähten. In den beiden VWindungen waren die vier Drähte zusammengedreht, in dem übrigen, einige Fuß langen Theile dagegen waren es nur die Enden eines und desselben Drahts. Dadurch wurde erreicht, dass, bei Hindurchleitung eines Stromes, erstlich die freien Enden der Drähte außer VWirksamkeit gesetzt waren, und zweitens also nur gleichlange Drahtstücke in möglichst gleicher Entfernung und Lage auf die Magnetnadel wirken konnten. Nun brachte ich successive einen der Drähte und die drei übrigen neben einander in die Kette, welche zugleich die Sinusbusssole und das Rheochord enthielt, änderte mittelst des letzteren Instruments den VViderstand so ab, dass die Sinusbusssole in beiden Fällen eine gleiche Stromstärke ergab und beobachtete dann die Galvanometernadel. In beiden Fällen zeigte diese Nadel eine gleiche Ablenkung, ungeachtet in dem einen Fall der auf sie wirkende Draht das Dreifache des VViderstands oder ein Drittel des Querschnitts darbot als im andern. An der Gleichheit des magnetischen Effects bei gleicher Länge der Stromesbahn ist also nicht zu zweifeln.

Aber

Aber man erfährt hiebei nichts über diejenige Elektricitätsmenge, die für einen gegebenen Zeitpunkt in einem gewissen Längenstück der Kette oder in der ganzen Ausdehnung derselben vorhanden ist. Denken wir uns nämlich einen feststehenden Querschnitt und einen anderen beweglichen, der vom Strome mit seiner Geschwindigkeit fortgeführt würde. Leicht wäre es möglich, dass der letztere in einem Falle doppelt so viel Elektricität enthielte, als in einem anderen, und dennoch würde die in der Zeiteinheit durch den festen Querschnitt gegangene Elektricitätsmenge dieselbe bleiben, wenn nur der bewegliche Querschnitt in dem einen Fall mit der halben Geschwindigkeit fortgerückt wäre wie im andern.

Jedenfalls aber ist die in der Zeiteinheit durch den festen Querschnitt gegangene Elektricitätsmenge derjenigen gleich, die in dem in derselben Zeit von dem beweglichen Querschnitt durchwanderten Längenstück für einen gegebenen Augenblick enthalten ist. Bezeichnen wir demnach die in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt gehende Elektricitätsmenge mit i , die für einen gegebenen Augenblick in ihm enthaltene mit e , und die Geschwindigkeit des Stroms mit v , so ist $i = ev$. Um also e zu bestimmen, müfste man neben i auch v kennen.

Allein über v oder die Geschwindigkeit des Stroms wissen wir bis zu diesem Augenblick so gut wie nichts. Für den magnetischen oder chemischen Effect könnte diese Geschwindigkeit in den einzelnen Theilen einer aus verschiedenem Material gebildeten Kette immerhin als gleich angenommen werden. Aber wie wäre dann zuvörderst die verschiedene Leistungsfähigkeit der Stoffe zu erklären?

Wenn man sich überhaupt auf eine Erklärung einlassen will, so glaube ich nicht, dass es anders geschehen könne, als durch die Annahme, es sey die Geschwindigkeit des Stroms verschieden in Körpern von verschiedenem Widerstand, nämlich desto geringer, je grösser dieser Widerstand. Ist dann die Gleichung $i = ev$ richtig, so folgt nothwendig, dass von gleichlangen Stücken der Stromesbahn diejenigen,

welche einen grösseren Widerstand darbieten, auch eine grössere Elektricitätsmenge enthalten als die übrigen.

Betrachten wir dies etwas näher. Setzen wir zuvörderst den Fall, der Strom gehe aus einem gutleitenden Körper in einen schlechtleitenden von gleichem Querschnitt über, also z. B. aus einem Kupferdraht in einen eben so dicken Neusilberdraht. Denken wir uns in dem Kupferdraht, in einem gewissen Abstand von einander, zwei bewegliche Querschnitte, die vom Strome mit seiner Geschwindigkeit fortgeführt werden. So wie der vordere dieser Querschnitte in den Neusilberdraht eingetreten ist, wird er in seiner Bewegung verzögert; er rückt langsamer vor, und wenn nach einer gewissen Zeit auch der hintere Querschnitt die Gränzfläche beider Metalle überschritten hat, wird er von diesem einen Abstand besitzen, der kleiner ist als der ursprüngliche, in dem Maafse als die Geschwindigkeit verrin- gert ward. Im Verhältnis dieser Verringerung der Ge- schwindigkeit wird also die Elektricität eine longitudinale *Verdichtung* erleiden, und folglich, bei gleicher Länge, der Neusilberdraht mehr Elektricität für einen gegebenen Au- genblick enthalten, als der eben so dicke Kupferdraht. Tritt der Strom, nachdem er den neusilbernen Draht durchlaufen hat, wieder in einen kupfernen ein, so erfolgt der umgekehrte Proces.

Betrachten wir nun zweitens den Fall, wo nicht das Material der Stromesbahn, sondern bloß die Querdimen- sionen derselben geändert sind, wo also der Strom, z. B. aus einem dicken Kupferdraht in einen dünneren übergeht. Nehmen wir wieder unsere beweglichen Ebenen zu Hülfe. Zuvörderst ist klar, daß so wie die erste derselben die Gränzfläche beider Drähte erreicht, in ihr eine Verdichtung der Elektricität stattfinden muss, in dem Verhältnis als der Querschnitt der Bahn kleiner geworden ist. Es fragt sich nun, ob die sonach in der Quere des Stroms verdichtete Elek- tricität ihre anfängliche Geschwindigkeit behalte oder nicht.

Vorsselman de Heer, in seinem schätzbarren Auf- satz: „*Recherches sur quelques points de l'électricité voltaï-*

que¹), „spricht die Meinung aus, die Geschwindigkeit des Stroms hänge alleinig von der Materie des Leiters ab, hinzusetzend, gleichwie die Geschwindigkeit des Schalls nur abhängt von der Natur des Mittels, in welchem er sich fortpflanzt.“

Nach dieser Ansicht, welche, wenn sie bewährt wäre, der Hypothese von einer oscillatorischen Fortpflanzung der Elektricität eine grosse Stütze verleihen würde, hätte man also anznuehmen, wie es auch von dem holländischen Physiker geschieht, dass der Strom, ungeachtet seiner transversalen Verdichtung in dem dünnen Kupferdraht, diesen mit derselben Geschwindigkeit durchlaufe wie den dicken.

Ich habe früher auch diese Ansicht getheilt, kann sie aber seit geraumer Zeit nicht mehr für richtig halten, schon aus dem einfachen Grunde, weil dabei nicht einzusehen ist, weshalb denn der dünne Draht, bei gleicher Länge mit dem dicken, mehr Widerstand als dieser darbiete. Vorsel am de Heer hat diese Frage unerörtert gelassen.

So weit ich gegenwärtig die Sache durchschaue, ist man gewissermassen zu der entgegengesetzten Ansicht genöthigt, nämlich zu der, dass der Strom seine Geschwindigkeit in demselben Maasse verringert, als er transversal verdichtet wird, — dass diese Geschwindigkeit also nicht bloß abhängt von der Natur des leitenden Mediums, sondern auch von dessen Querdimensionen, — kurz, dass sie nicht proportional ist der Leistungsfähigkeit $= \frac{1}{c}$, sondern dem Product aus dieser und dem Querschnitt des Mediums $= \frac{s}{c}$, woraus dann folgt, dass der Widerstand eines Körpers die Zeit vorstellt, in welcher derselbe vom Strome durchlaufen wird.

Was mich in dieser Ansicht bestärkt, ist einerseits die ungeheuer geringe Leistungsfähigkeit, welche, den Messungen mehrer Physiker zufolge, die Flüssigkeiten in Vergleich mit den Metallen besitzen; und andererseits das namentlich aus neueren Beobachtungen hervorgegangene Resultat, dass der Erdboden den galvanischen Strom nicht nur ungeschwächt

1) *Bulletin des sciences physiques et naturelles en Néerlande* (1839), T. I., p. 319.

durchläfst, sondern auch so gut wie *momentan*, ein Resultat von erster Wichtigkeit für die elektrische Telegraphie, welches beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse nicht mit Sicherheit *a priori* abzuleiten gewesen wäre.

Vergleicht man mit diesen Thatsachen die *Vosselman'sche* Ansicht von der Stromgeschwindigkeit, so weit es die vorhandenen numerischen Angaben zulassen, so stößt man sogleich auf die grössten Widersprüche.

Nach sorgfältigen, von den Wirkungen der Polarisation befreiten Messungen, die neuerlich Hr. Horsford ausgeführt hat¹⁾, leitet eine Lösung, die etwa 1 Grm. Kochsalz auf 100 Cubiccentim. Wasser enthält, 2750560 Mal schlechter als Neusilber, und da dieses, nach den Beobachtungen des Hrn. Riefs, 11,286 Mal schlechter leitet als Kupfer, würde folglich diese Lösung 31043000 Mal schlechter leiten als das letztere Metall. Schwerlich leitet der Erdboden besser, da er sein Leitvermögen nur der zwischen isolirenden Theilchen befindlichen Feuchtigkeit verdankt. In Ermangelung positiver Angaben, will ich daher annehmen, er habe dieselbe Leistungsfähigkeit wie erwähnte Lösung.

Nun vergleiche man hiermit die allerdings mancherlei Bedenken einflößende Bestimmung, welche Wheatstone über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in Kupfer geliefert hat²⁾. Im Maximo giebt es der Elektricität eine Geschwindigkeit von 576000 engl. Meilen in der Secunde; nach einer andern Hypothese wäre sie nur halb so gros. Nehmen wir den grösseren Werth als den günstigsten für den in Rede stehenden Fall. Nach der *Vosselman'schen* Ansicht wäre nun derselbe, um die Elektricitäts geschwindigkeit im Erdboden zu erhalten, zu dividiren durch die oben gefundene Zahl. Vollzieht man die Division, so ergiebt sich diese Geschwindigkeit = 0,0186 engl. Meile, d. h. etwa = 98 engl. Fuß *pro* Secunde, ein Resultat von offenbarer Unrichtigkeit, da nach demselben die telegraphischen Signale, wenigstens bei der Geschwindigkeit, die man

1) Ann. Bd. 70, S. 238.

2) Ann. Bd. 34, S. 464.

gegenwärtig den Eilzügen in England giebt, von der Locomotive überholt werden würden.

Ganz anders würde sich natürlich das Ergebnis stellen, wenn man die Querdimensionen des Bodens mit in Rechnung zöge, wozu aber leider bis jetzt alle sicheren Data fehlen.

Nach allen diesen Betrachtungen glaube ich die ausgesprochene Ansicht über die Stromgeschwindigkeit für richtig halten zu dürfen. Es wird also, um auf den behandelten Fall zurückzukommen, wenn in einer Kette der Strom aus einem dicken Draht in einen dünnen von gleichem Material übergeht, mit der transversalen Verdichtung zugleich eine Verzögerung seiner Geschwindigkeit, und damit dann auch eine Verdichtung desselben in longitudinalem Sinn eintreten. Der dünne Draht wird demnach, bei gleicher Länge mit dem dicken, mehr Elektricität enthalten als dieser. Es ist e vergrößert, aber weil v in demselben Verhältnis verringert ist, bleibt das Product $ve = i$, d. h. die in der Zeiteinheit durchgehende Elektricitätsmenge, also auch der magnetische oder chemische Effect ungeändert¹⁾.

Eine fernere Bestätigung findet die oben vorgetragene Ansicht durch ihre Anwendung auf die thermischen Erscheinungen der galvanischen Kette. Sie giebt dem Joule'schen Gesetz eine Auslegung, die zwar nicht für eine Erklärung gelten kann, doch aber, wie ich glaube, mehrfaches Interesse darbietet.

Um dieses übersichtlich zu zeigen, will ich zuvörderst die hier in Betracht kommenden Größen aufzählen, und dann ihre Relationen zusammenfassen.

- 1) Die Stromgeschwindigkeit hängt also, auch der aufgestellten Ansicht zufolge, immer nur von dem Leiter ab, nicht von der darin fließenden Elektricitätsmenge. Nun kann es allerdings scheinen, daß wenn die Stromgeschwindigkeit z. B. abnimmt mit Verringerung des Querschnitts, sie auch abnehmen müsse, wenn bei gleichbleibendem Querschnitt die strömende Elektricitätsmenge vergrößert wird. Eine solche Hypothese würde aber zu sehr verwickelten Folgerungen führen, und ich glaube auch nicht, daß man zur Annahme derselben genötigt sey.

k eletromotorische Kraft der ganzen Kette oder eines Theils derselben;
 l, s Länge und Querschnitt des Leiters;
 e, r Widerstand desselben, respective für die Einheit der Dimensionen und für die Dimensionen l u. s ;
 v Geschwindigkeit des Stroms;
 t Zeit, in welcher derselbe die Länge l zurücklegt;
 ϵ, e, E Elektricitätsmenge, welche der Strom respective im Querschnitt $= 1$, im Querschnitt $= s$ und in einem Stück von der Länge l und dem Querschnitt s für einen Augenblick enthält, und auch *bleibend* enthalten würde, wenn die genannten Theile mit der Stromgeschwindigkeit v fortwanderden, oder wenn man sich den Strom zum Stillstand gekommen dächte;
 i die in der Zeiteinheit durch einen festen Querschnitt $= s$ gehende Elektricitätsmenge oder die *Stromstärke (Stromgröße)*¹;
 m die dem magnetischen oder chemischen Effect des Stroms proportionale Gröfse;
 w die in der Zeiteinheit in einem Stromesstück vom Widerstand r entwickelte Wärmemenge.

Für diese 13 Gröfzen hat man zunächst folgende 9 einfache Relationen:

$$ir = k \quad \text{oder} \quad (1), \quad v = \frac{s}{c} \quad \text{.} \quad (7),$$

$$i = ve \quad \text{.} \quad (2),$$

$$e = \epsilon s \quad \text{.} \quad (3),$$

$$E = el \quad \text{.} \quad (4), \quad r = \frac{cl}{s} \quad \text{.} \quad (8),$$

$$m = il \quad \text{.} \quad (5),$$

$$w = i^2 r \quad \text{.} \quad (6), \quad t = \frac{l}{v} \quad \text{.} \quad (9).$$

Aus diesen Relationen entspringen verschiedene andere, von denen ich einige ihres Interesses wegen hier hervorheben will.

1) Es ist also $\frac{i}{s}$ die eigentliche *Intensität des Stroms*, welche auch von einigen Physikern (namentlich Vorsselman de Heer a. a. O.) *Dictheit des Stroms* genannt wird, eine Benennung, die aber wohl richtiger auf die Gröfse ϵ zu übertragen seyn dürfte.

So erhält man aus den Gleichungen (4), (2), (7), (8) und (1):

$$E = el = \frac{il}{v} = \frac{ict}{s} = ir = k \quad (10),$$

d. h. die in der ganzen Kette (oder auch einem Theil derselben) vorhandene Elektricitätsmenge ist eine constante, vom Widerstand und von der Stromstärke völlig unabhängige Gröfse, welche mit der elektromotorischen Kraft k zusammenfällt¹⁾.

Dies Resultat kann im ersten Augenblick vielleicht auffallend erscheinen; allein man muß erwägen, daß E nur die für einen Moment in der Stromesbahn vorhandene, nicht die während einer gewissen Zeit in ihr circulirende Elektricitätsmenge bedeutet. Nach den Gleichungen (8), (7) und (9) ist:

$$r = c \frac{l}{s} = \frac{l}{v} = t \dots \dots \dots \quad (11),$$

also r , im Fall damit der gesamme Widerstand bezeichnet ist, die Zeit, in welcher die Elektricität einen vollen Umlauf in der Kette vollendet. Verringert man demnach den

Widerstand r auf $\frac{1}{n}$, so verkürzt man auch die Umlaufs-

zeit auf $\frac{1}{n}$, und während der Zeiteinheit wird dieselbe

Elektricitätsmenge E also n Mal durch die Kette getrieben, folglich auch die Stromstärke auf das n -fache erhöht. So ist es zu verstehen, wenn unter anderen von Ampère gesagt wird²⁾, daß die von einer galvanischen Kette innerhalb einer selben Zeit in Bewegung gesetzte Electricitätsmenge fortwährend wachse mit der Leistungsfähigkeit des Schließdrahts.

Aus (4), (2) und (5) folgt ferner:

$$Ev = il = m \dots \dots \dots \quad (12),$$

d. h. die für einen Moment vorhandene Elektricitätsmenge,

1) Es ist wohl hervorzuheben, daß E , für die ganze Kette, nicht gleich k seyn könnte, wenn nicht $v = \frac{s}{c}$ wäre.

2) Ann. de chim. et de phys. (1820), T. XV., p. 69.

multiplicirt mit ihrer Geschwindigkeit, gleich dem magnetischen Effect des Theils, in welchem sie vorhanden ist.

Multiplicirt man ferner $E = ir$ mit i , so hat man:

$$iE = i^2r = w \dots \dots \dots \quad (13),$$

d. h. die Wärmemenge, welche in der Zeiteinheit in einer Stromesbahn vom Widerstand r entwickelt wird, ist gleich der darin enthaltenen Elektricitätsmenge multiplicirt mit der Stromstärke oder der in derselben Zeit durch einen festen Querschnitt fliessenden Elektricitätsmenge.

Bei gleicher Stromstärke sind also die entwickelten Wärmemengen den momentan in der Stromesbahn enthaltenen Elektricitätsmengen direct proportional. Dies gilt sowohl von den verschiedenen Stücken einer und derselben Kette, in welchen schon an sich die Stromstärke gleich ist, als von verschiedenen Ketten, sobald ihre Ströme auf gleiche Stärke gebracht worden sind¹⁾.

Der Ausdruck für w ist verschiedener Umgestaltungen fähig, von welchen ich hier nur eine anführen will. Ersetzt man nämlich i durch seinen Werth ve , so erhält man aus (13):

$$veE = w,$$

d. h. die in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge ist gleich der momentan vorhandenen Elektricitätsmenge, multiplicirt mit ihrer Geschwindigkeit und mit ihrer Dichtigkeit, wenn man hier unter Dichtigkeit die Elektricitätsmenge versteht, die sich momentan in einem ganzen Querschnitt befindet.

Ich halte diesen Ausdruck für den befriedigendsten, der sich vor der Hand aufstellen lässt, obwohl er über die Entstehung der Wärme in der Stromesbahn keine eigentliche

- 1) Wenn sich ein galvanischer Strom verzweigt, so geschieht es bekanntlich in der Weise, dass $i'r' = i''r'' = i'''r''' = \dots$, d. h. die Producte aus den Widerständen in die Stromstärken für die einzelnen Zweige gleiche Größen sind. Dem obigen Satze zufolge ist also momentan in jedem Zweige eine gleiche Elektricitätsmenge E' enthalten. Da ferner die in diesen Zweigen entwickelten Wärmemengen, gemäß dem Joule'schen Gesetz, respective sind: $i'.i'r', i''.i''r'', i'''i'''r'''$, ..., so folgt, dass man für sie auch habe: $i'E', i''E', i'''E'$ (sie also proportional sind den Stromstärken in diesen Zweigen) und $iE' = (i' + i'' + i''' + \dots)E'$.

Erklärung liefert. Aber mit einer weiteren Erklärung sieht es überhaupt noch mitslich aus, mag man nun einen einzigen Strom in der Kette annehmen, oder der Hypothese beipflichten, es circulirten deren zwei darin von entgegengesetzter Natur und Richtung, wo man dann freilich sagen könnte, der thermische Effect entspringe aus dem *Product* und der magnetische oder chemische aus der *Summe* dieser beiden Ströme.

Förderlicher für die Wissenschaft ist es gewifs, zunächst an die Lösung der Aufgaben zu denken, deren Behandlung der experimentellen Forschung zugänglicher ist, und darunter möchte wohl die über die Strongeschwindigkeit oder Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität vorzugsweise Beachtung verdienen. Wie mir scheint, hat man die Beantwortung dieser wichtigen Frage eher auf indirectem als auf directem Wege zu erwarten, etwa in ähnlicher Weise, wie man die Schallgeschwindigkeit in Luft aus dem Ton einer Pfeife hergeleitet hat.

Wäre es z. B. möglich zu bestimmen: einerseits die Elektricitätsmenge, die momentan in der ganzen Kette vorhanden ist, und andererseits diejenige, welche in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt fliesst, so würde man nur nöthig haben, die erstere durch die letztere zu dividiren, um die Zeit zu erhalten, welche der Strom zu einem vollen Umlauf in der Kette bedarf.

Z u s a t z. Das vorhin (S. 342 und 344) erwähnte thermometerartige Instrument, welches man ganz füglich *Galvanothermometer* nennen könnte, habe ich auch benutzt, um mich fernerweitig durch eigene Erfahrung von der Richtigkeit des Joule'schen Gesetzes zu überzeugen. Es besitzt, für die Messung der Wärmeentwicklung in festen Leitern, einige wesentliche Vorzüge vor dem Thermometer, dessen sich die übrigen, mit diesen Untersuchungen beschäftigten Physiker bedient haben.

So zunächst hat es wohl wegen der bedeutenden Gröfse,

die man immer seinem Behälter lassen muss, eine höhere Empfindlichkeit, als in der Regel die hier anwendbaren Thermometer besitzen. Zweitens aber, und das möchte sein Hauptvorzug seyn, ist man bei ihm gegen die Temperaturungleichheiten geschützt, die nothwendig in der Flüssigkeit eintreten, an welche der vom Strom durchlaufene Draht ausgesetzt seine Wärme abgibt. Durch stetes Umrühren der Flüssigkeit lassen sich diese Ungleichheiten allerdings bedeutend vermindern: ob man sie aber vollständig heben könne, möchte ich nach meinen Erfahrungen bezweifeln. Selbst ein Thermometer mit cylindrischem Behälter von solcher Länge, dass er die ganze Höhe der Flüssigkeit durchsetze, hinterliess mir noch einige Ungewissheit, ob es wirklich die mittlere Temperatur der Flüssigkeit angebe, denn ich fand meistens, dass es noch eine Weile nach Unterbrechung des Stroms zu steigen fortfuhr.

Bei dem *Galvanothermometer* habe ich diesen Uebelstand nicht bemerkt. Der Umstand, dass die seinen Behälter füllende Flüssigkeit eben die ist, welche vom Stromdraht durchlaufen und erwärmt wird, macht überdies die im Innern derselben etwa stattfindenden Temperaturverschiedenheiten, ganz unschädlich. Die Temperatur mag gleich- oder ungleichförmig seyn, so lange sie nur nicht so hoch steigt, dass sich der Ausdehnungscoefficient und die specifische Wärme merklich ändern, und so hoch braucht man sie niemals steigen zu lassen, so lange findet man auch durch die Ausdehnung der Flüssigkeit die mittlere Temperatur, welche sie vom Draht erhalten haben würde.

Mag man übrigens dieses Instrument oder ein Thermometer zur Messung der galvanischen Wärmeentwicklung anwenden, so ist es, zur Erlangung genauer Resultate, durchaus nothwendig, auf die während der Dauer der Versuche stattfindende Erkaltung Rücksicht zu nehmen.

Joule freilich hat sie ganz aufser Acht gelassen und es ist daher einigermaßen zu verwundern, dass er die richtigen Gesetze auffinden konnte. Allein die übrigen Physiker haben die Erkaltung berücksichtigt.

Lenz benutzt das von Rumford zur Bestimmung der Verbrennungswärme angewandte Verfahren ¹⁾), indem er die einen Theil des Schleifsdrahts der Kette aufnehmende Flüssigkeit zuvor durch Eis um einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, und den Strom so lange unterhält, bis sie um eine gleiche Zahl von Graden über die Luft erwärmt ist. Dadurch findet sich der Einfluss der Erkaltung eliminiert, und was die Flüssigkeit in der zugleich beobachteten Zeit an Wärme gewonnen hat, ist der volle Effect des galvanischen Stroms ²⁾.

E. Becquerel bedient sich der von de Laroche und Bérard bei ihren Versuchen über die specifische Wärme der Gase angewandten und ebenfalls von Rumford erdachten Methode ³⁾; er lässt den Strom mittelst des ihn leitenden Drahts so lange auf die Flüssigkeit wirken bis eine constante Temperatur eingetreten ist, unterbricht ihn nun und beobachtet für ein Paar kurze Zeitintervalle das Erkalten. Dadurch findet sich dann die vom Strome abgegebene Wärmemenge folgendermaßen.

Es sey der Temperaturüberschuss der Flüssigkeit über die Umgebung im Moment der Unterbrechung des Stroms $= a$, und nach der Zeit $\tau = t$, ferner sey v die Geschwindigkeit der Erkaltung, m eine Constante, M die Masse der zu erwärmenden Flüssigkeit (deren specifische Wärme gleich eins gesetzt werden kann) und w die vom Strome in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge. Dann ist:

$$m = \frac{1}{\tau} \log. nat. \frac{a}{t}; \quad v = - \frac{dt}{d\tau} = mt; \quad w = Mv.$$

Hier handelt es sich nur um die anfängliche Erkaltungs geschwindigkeit, nämlich $v = ma$, weil die Wärmemenge, welche die Flüssigkeit in der ersten kurzen Zeit nach Unterbrechung des Stroms verliert, gleich derjenigen ist, welche ihr vom Strome zugeführt wurde, und bestimmt werden soll. Man hat demnach:

1) Gilb. Ann. (1813), Bd. 44, S. 8.

2) Ann. Bd. 61, S. 24.

3) Ann. de chimie (1813) T. LXXXV., p. 72 et 113.

$$w = Mv = Mam = Ma \frac{1}{\tau} \log. \text{nat.} \frac{a}{t}$$

Endlich wandte Botto das Lavoisier'sche Verfahren an, indem er die Eismenge bestimmte, die von dem in das Innere eines Calorimeters gebrachten Theil des Schließdrahts innerhalb einer gewissen Zeit geschmolzen ward¹⁾. Die Messung der Stromstärke geschah dabei, wie bei Bequerel, mittelst des Voltameters, während Lenz sich dazu einer mit dem Voltameter verglichenen Tangentenbussole bediente.

Ohne Zweifel können alle drei Methoden gute Resultate liefern; allein ich halte sie nicht frei von Unbequemlichkeit. So unter andern erfordert die zweite, um die constante Temperatur zu erreichen, gewöhnlich eine mehrstündige Unterhaltung des Stroms, und da diese Temperatur nicht vorher bekannt ist, so kann sie leicht so hoch ausfallen, dass entweder die Scale des Thermometers nicht ausreicht (da man dieser, um grosse Grade zu haben, nur einen geringen Umfang giebt), oder das Newton'sche Erkaltungsge setz nicht mehr anwendbar ist.

Mein Streben ging vorzüglich dahin, es so einzurichten, dass der Zweck, die Prüfung des Joule'schen Gesetzes, mit einem möglichst geringen Aufwand von Mitteln, z. B. schon mittelst einer einzigen Grove'schen Kette, erreicht werden könne, und dazu schien mir ein anderes Verfahren geeigneter, auf welches ich durch eine Stelle in Lambert's *Pyrometrie* (S. 144) geführt wurde. Die Theorie dieses Verfahrens ist folgende.

Die Wärme, welche der Flüssigkeit in einem Zeitdifferential $d\tau$ durch den Strom zugeführt wird, ist $= h d\tau$, wenn h den Erwärmungscoefficienten bezeichnet; die Wärme, welche sie unter dem durch Erkaltung verliert, ist $- m t' d\tau$, wo m den Erkaltungscoefficienten und t' den Temperaturüberschuss der Flüssigkeit über die Umgebung bedeutet. Die gesamte Erwärmung dt' während der Zeit $d\tau$ ist also:

$$dt' = (h - mt') d\tau$$

1) *Archiv. de l'électricité*, T. V., p. 353.

wovon das Integral:

$$\tau = -\frac{1}{m} \log. (h - mt) + C$$

und, nach Bestimmung der Constante C , wenn t den Temperaturüberschuss für $\tau = 0$ bezeichnet:

$$\tau = \frac{1}{m} \log. \frac{h - mt}{h - mt'} \quad \dots \quad (1).$$

Für ein anderes, eben so grosses Zeitintervall, wenn der Temperaturüberschuss zu Anfange desselben = t' , und am Ende t'' ist, hat man ähnlich

$$\tau = \frac{1}{m} \log. \frac{h - mt'}{h - mt''} \quad \dots \quad (2).$$

Setzt man beide Ausdrücke einander gleich, so kommt:

$$h = m \cdot \frac{t'^2 - tt''}{2t' - t - t''} \quad \dots \quad (3),$$

welches auch, wenn man $t' - t = \delta'$ und $t'' - t = \delta''$ setzt, so geschrieben werden kann:

$$h = m \left(t + \frac{\delta'^2}{2\delta' - \delta''} \right) \quad \dots \quad (4)$$

und in dieser Form den Einfluss des anfänglichen Temperaturüberschusses t deutlicher hervortreten lässt. Ist dieser Temperaturüberschuss = 0, so reducirt sich der Ausdruck auf den einfacheren:

$$h = m \cdot \frac{\delta'^2}{2\delta' - \delta''} = m \cdot \frac{t'^2}{2t' - t''} \quad \dots \quad (5).$$

Für einen und denselben Apparat ist m eine constante Grösse; zur Prüfung des Joule'schen Gesetzes bedarf man ihrer also nicht, da man setzen kann:

$$\frac{h}{m} = i^2 r.$$

Die Anwendung dieses Verfahrens wird einleuchtend seyn. Man beobachtet zu drei verschiedenen Momenten, die durch gleiche Zeitintervalle getrennt sind, die Temperatur der vom Strome erwärmten Flüssigkeit entweder mittelst eines Thermometers oder besser am Galvanothermometer. Man wiederholt diese drei Beobachtungen entweder bei demselben Widerstand und einer anderen Stromstärke

oder bei derselben Stromstärke und einem anderen Widerstand, und erhält somit entweder:

$$\frac{h}{m} : \frac{h'}{m} = i^2 : i'^2, \quad \text{oder: } \frac{h}{m} : \frac{h'}{m} = r : r'.$$

In dieser Weise habe ich einige Reihen von Messungen ausgeführt, die im Allgemeinen eine ganz befriedigende Bestätigung des erwähnten Gesetzes lieferten.

Das hiebei benutzte Galvanothermometer hat folgende Einrichtung. Eine kleine Stöpselflasche von 52 Millim. Höhe (ohne den Hals gerechnet), 33 Millim. außerem Durchmesser und geringer Wanddicke bildet den Hauptkörper desselben. Im Boden hat sie ein 20 Millim. weites Loch, verschlossen durch einen fehlerfreien Kork, durch welchen die nöthigen Drähte in das Innere geben. Sind diese Drähte an ihrem Ort, so wird die Flasche bis in den Hals mit Alkohol gefüllt, und darauf eine etwa anderthalb Fuß lange eingeriebene Glasröhre, deren untere Grandfläche etwas concav ist, fest aufgesteckt und eine in Millimeter getheilte Scale daran befestigt. Der innere Durchmesser dieser Röhre richtet sich natürlich ganz nach der Empfindlichkeit, welche man dem Instrumente geben will; bei dem meinigen beträgt dieser Durchmesser etwa 1,0 Millimeter.

Zur Befestigung und leichten Auslösung des Drahts, der durch den Strom erwärmt werden soll, dienen zwei Silberdrähte von etwa zwei Millim. Dicke, welche am inneren Ende mit einem Löchelchen und einem Schraubengewinde versehen sind. In diese Löchelchen werden die Enden des dünnen Drahts gesteckt und darin durch Schraubenmütter festgehalten. Sollen successive drei Drähte erwärmt werden, so sind vier solcher Befestigungspunkte erforderlich, einer für die einen Enden der drei Drähte, und die übrigen drei für die anderen drei Enden. Außerhalb werden die dicken Silberdrähte durch Klammern fernerweitig verknüpft.

Bei dem angewandten Instrumente war die Flasche unten nur durch einen Kork verschlossen. Besser ist es statt dessen eine mattgeschliffene, und zur Durchlassung der Silberdrähte gehörig durchbohrte Glasplatte anzuwenden, in ähnlicher Weise, wie ich einen solchen Verschlus s schon seit längerer Zeit bei dem Voltameter habe anbringen lassen.

**II. Ueber die Influenzelektricität und die Theorie
des Condensators; von Peter Rieß.**

Der älteste elektrische Versuch, zwei Jahrtausende hindurch der einzige, zeigt, dass der Bernstein durch Reiben in einen eigenthümlichen Zustand versetzt wird, in welchem derselbe leichte Körper aus der Entfernung lebhaft anzieht. Es hat hiebei den Anschein, als ob ein elektrisirter Körper die Kraft besäfse, nicht elektrisierte Körper anzuziehen, und wirklich ist die Thatsache lange so gedeutet und bewundert worden. Aber das Wunder war grösser, als man glaubte, und eine klare Einsicht in die elektrischen Erscheinungen wurde erst möglich, als jene Thatsache gegen den Augenschein geläugnet und es erkannt war, dass ein elektrisirter Körper unelektrische Körper nicht anzieht. **Aepinus**¹⁾ konnte diesen Ausspruch um so leichter thun, da nicht allein Franklin's Theorie von dem Spiele der Elektricität darauf leitete, als auch **Canton** längere Zeit zuvor die Thatsache entdeckt hatte, die den Ausspruch mit der Erfahrung vollkommen versöhnte. Ein jeder Körper nämlich, der in die Nähe eines elektrisirten gebracht ist, wird selbst elektrisch, die von dem Bernstein angezogenen Strohhalme sind elektrisch und die beobachtete Anziehung findet daher zwischen elektrisierten Körpern statt. Bringt man einen Körper in die Lage, dass er die Elektricität, welche er durch die Nähe eines elektrisierten Körpers erhalten hat, sogleich wieder verliert, so wird er von dem letzteren nicht bewegt. Die Elektrisirung durch Nähe eines elektrischen Körpers, Elektrisirung durch Influenz genannt, hat seit ihrer Entdeckung mit Recht die grösste Aufmerksamkeit erregt, da sie die beständige Begleiterin aller elektrischen Versuche ist; sie hat aber Anlass zu mannigfachen Irrthümern gegeben, die grosstheils noch fortbestehen, ja sogar neue Zweige getrieben haben. Die Wurzel dieser Irrthümer ist in einem falsch

1) *Tentamen theorie electricitatis*, Petrop. 1759, p. 43.

gedeuteten Versuche und in einer übel gewählten Bezeichnung zu finden. Es ist vorhin ganz allgemein die Elektrisirung durch Influenz neben die durch Reibung gestellt worden, und doch scheinen diese Arten der Elektricitäts-erregung verschieden zu seyn. Man denke sich ein geriebenes Stück Bernstein und in einiger Entfernung davon einen Strohhalm, beide Körper von allen übrigen Körpern so weit entfernt, dass der elektrische Zustand derselben von diesen nicht geändert werden kann. Auf dem Bernstein findet sich nur eine Elektricität, die negative, während auf dem Strohhalm beide Elektricitäten vorhanden sind, die positive dem Bernstein zunächst, die negative am entferntesten davon. Aber dieser Unterschied der Elektrisirung ist nur scheinbar. Das Tuch, die Hand, womit der Bernstein gerieben worden, hat dadurch bekanntlich positive Elektricität erhalten, man hat durch Reiben einen zusammengesetzten Körper elektrisch gemacht, denselben nachher in zwei Stücke getrennt und davon ein Stück untersucht. Trennt man in gleicher Weise den Strohhalm in zwei Stücke, so erhält man jedes derselben mit nur einer Elektricitätsart und zwar das dem Bernstein nächste Stück positiv elektrisch. Diess Stück darf also allein mit dem Bernstein verglichen werden und wir müssen dann sagen, dass es elektrisch wie dieser, nur in entgegengesetzter Art sey. Bringt man dieses Stück mit dem Bernstein in Berührung, so verschwindet die positive Elektricität des Halmes und er wird negativ elektrisch, woraus hervorgeht, dass die Menge der Influenzelektricität geringer ist, als die der Elektricität, durch welche sie erregt worden. Es zeigt sich, dass die Menge der Influenzelektricität mit der Nähe beider Körper zunimmt. Aber auch bei gleichbleibendem Zwischenraum zwischen Bernstein und Strohhalm ist die Erregung der Influenzelektricität von einem andern Umstände, nämlich von der Länge des Strohhalms, abhängig. Es werde der Halm in die Nähe des Bernsteins gebracht, so ist, wie eben gesagt worden, sein nächstes Ende positiv, sein fernstes negativ elektrisch. Wir wollen die Elektricität des vorderen Endes Influenzelek-

elektricität oder Influenzelektricität erster Art, die des hinteren Endes Influenzelektricität zweiter Art nennen, und unser Augenmerk allein auf die erste Art richten. Ist der Strohhalm nur kurz, so wird die positive Elektricität des vorderen Endes nahe der negativen des hinteren Endes liegen und daher nur geringe Wirkung äussern können; verlängern wir den Halm, so werden die beiden Elektricitätsarten weiter auseinanderliegen, die Wirkung der positiven wird zunehmen, und sie wird ihr Maximum erreichen, wenn wir den Halm außerordentlich lang nehmen. Dieser Versuch ist mit dem folgenden von ihm gänzlich verschiedenen Versuche verglichen worden. Ein einzelnstehender elektrisirter Körper wird durch Verbindung mit dem Erdboden unelektrisch, seine Elektricität wird, wie man sagt, durch den verbindenden Leiter abgeleitet. Ein Strohhalm neben einem geriebenen Bernstein wird durch Berührung mit dem Finger nicht unelektrisch, seine positive Elektricität wird vielmehr, nach dem eben beschriebenen Versuche, die grösste Stärke erhalten, welche sie bei der einmal gewählten Entfernung erreichen kann. Man glaubte hiernach auf die Existenz einer eigenen Elektricitätsgattung schliessen zu können, die im Gegensatz zu der gewöhnlichen Elektricität nicht abgeleitet werden könne, ja man ging weiter und sprach dieser Elektricität auch eine Anziehung und Abstofung ab, ließ sie also nur als virtuelle Kraft gelten. Unterstützt wurde diese Ansicht durch eine frühere Bezeichnung der Influenzelektricität, die von einer anderen Wirkung derselben hergenommen ist. Eine isolirte Metallscheibe, an einer Fläche mit einem Drahte und Elektrometerpendeln versehen, werde elektrisirt, so dass die Pendel zu einer bestimmten Weite divergiren. Wird der Scheibe eine ähnliche aber nicht isolirte Scheibe parallel genähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ab, erhält aber ihre frühere Grösse, wenn die zweite Scheibe entfernt wird; bleiben hingegen beide Scheiben in ihrer Lage, so kann die frühere Divergenz der Pendel nur dadurch erlangt werden, dass man der isolirten Scheibe aufs Neue Elektricität in gehöriger Menge

zuführt. Volta, der diese Erscheinung zur Construirung seines Condensators benutzte, erkannte den Grund derselben (1782) in der Influenzelektricität der nicht isolirten Scheibe, die er zufällige (*accidentale*) Elektricität nennt, im Gegensatz zur reellen Elektricität der isolirten Scheibe¹). Da nun die zufällige Elektricität der reellen dem Zeichen nach entgegengesetzt ist, so entstehe ein *equilibrio accidentale* beider Elektricitäten und die Capacität der nicht isolirten Scheibe werde vergrößert, so dass diese eine größere Elektricitätsmenge bedürfe, um das an ihr befestigte Elektroskop zu gleicher Divergenz wie früher zu bringen. So unvollkommen diese Erklärung uns jetzt erscheint, so hat sie doch das Gute, dass sie, auf Thatsachen gestützt, keine hypothetische Eigenschaft der Influenzelektricität ins Spiel mischt. Die negative Influenzelektricität einer nicht isolirten Scheibe, die einer positiv elektrischen isolirten Scheibe nahe steht, wird ganz der reellen negativen Elektricität gleich gesetzt, die wir einer isolirten Scheibe in der Nähe einer positiv elektrischen gleichfalls isolirten Scheibe gegeben haben. Es ist dies den gesunden Ansichten gemäfs, die Franklin, Aepinus, Wilke früher aufgestellt hatten. Ganz anders aber verfuhr Lichtenberg, der einige Jahre später²) eine Erklärung der Wirkung des Condensators und Elektrophors gab. Indem er die Theorie der Elektricität im Allgemeinen betrachtet und dabei die des Feuers erwähnt, stellt er die Frage auf: Lässt sich bei der Elektricität auch eine specifische, absolute, sensible und gebundene betrachten? und in der folgenden Erklärung des Condensators und des Elektrophors nimmt er ohne Weiteres die letzten beiden Zustände an. Ich führe diese merkwürdigen Stellen im Wesentlichen mit den Worten Lichtenbergs an. Man elektrisire, sagt derselbe, eine Metallplatte, die man an seidenen Schnüren hält, dergestalt, dass ein darauf stehendes Elektroskop eine Divergenz von 60 Graden zeigt, und

1) *Collezione dell'opere di Volta*. Firenze 1816. T. I., pt. I., p. 255.

2) Erxleben, *Anfangsgründe der Naturlehre*. Göttingen 1784. S. 498.

halte sie hoch über eine wagerechte leitende Tischplatte. So wie man die Platte dem Tische allmälig nähert, wird das Elektroskop fallen, zieht man sie aber wieder aufwärts, wird es wieder auf 60° steigen. Gesetzt nun 60° wäre der höchste Grad von Elektricität gewesen, welche die Platte habe halten können, ohne auszuströmen, so wird sie, dem Tische so nahe gebracht, dass der Zeiger des Elektroskops auf 40° zeigt, wieder Elektricität von der Maschine annehmen können, die ihn auf 60° treibt. Würde also alle Elektricität, die der Scheibe jetzt zugehört, auf einmal sensibel, so würde sie eine Elektricität von 80° haben und 20° würden ausströmen. Es waren also 20° Elektricität gebunden, ohne deshalb für den Teller verloren zu seyn. Man sieht hieraus: die Atmosphäre um die Platte treibt den gleichnamigen natürlichen Anteil des Tisches zurück und zieht den ungleichnamigen. Derjenige Theil der Atmosphäre der Platte, der dieses thut, verliert seine Empfindbarkeit und ist gegen das Elektroskop todt (*latent* in der Ausgabe 1794) und eben so todt ist er auch gegen die Maschine, die der Platte neue Materie zuführen soll. — Das Spiel des Elektrophors erklärt Lichtenberg folgendermassen (a. a. O. S. 523): Lege ich auf die — E Oberfläche des Kuchens den Deckel, so wird ein Theil seines natürlichen $+E$ von ihm gezogen und sein natürliches — E zurückgestossen. Wird der Deckel berührt, so verbindet sich das freie — E desselben mit $+E$ aus meinem Finger und dieses $+E - E$ ist $= 0$, daher ruht alles; wird aber der Deckel aufgezogen, so wird sein erstes natürliches $+E$, das bisher durch den Kuchen gebunden war, wieder freies sensibles $+E$.

Hier ist also von dem gewöhnlichen elektrischen Zustande ein anderer unterschieden, in dem die Elektricität zwar vorhanden, aber wirkungslos, todt, latent seyn soll, ganz analog der Wärme in einem Körper, der seinen Aggregatzustand geändert hat. Die Influenzelektricität erster Art soll sich gänzlich in diesem Zustande befinden, so lange die sie hervorrufende Elektricität in ihrer Nähe ist, von

dieser letzteren soll aber nur ein Theil gebunden, der andere frei seyn. Ein einzelstehender elektrischer Körper und ein elektrischer Körper in der Nähe eines nicht elektrirten, die beide ein Elektroskop zu derselben Divergenz bringen, würden hiernach einer Wassermasse und einer Dampfmasse analog zu betrachten seyn, die bei sehr verschiedener Wärmemenge ein Thermometer zu demselben Grade erwärmen. Diese Unterscheidung zweier elektrischer Zustände hat allgemeinen Eingang in die Lehrbücher, deutsche wie fremde, gefunden, und bis auf den heutigen Tag werden in solchen ganze Kapitel über die gebundene, latente, dissimulirte Elektricität geschrieben. Dies ist für die Wissenschaft von den verderblichsten Folgen gewesen. Die experimentirenden Physiker blieben nicht bei jenen Versuchen stehen, welche die Bezeichnung veranlaßt hatten, sie suchten der gebundenen Elektricität näher zu treten, und die Realität der Bezeichnung nachzuweisen. Ich habe schon erwähnt, daß der gebundenen Elektricität gänzliche Unwirksamkeit zugeschrieben wurde. Kaum war das Fehlerhafte jener Schlusfolge nachgewiesen, so wurden andere nicht minder seltsame Eigenschaften derselben behauptet. Sie sollte bewegend aber bewegungslos seyn, abstoßend nur auf sich selbst, anziehend nur auf die Elektricität wirken, die sie erzeugt, sie sollte zwar im Raume wirken aber nur nach einer Seite hin und bis zu einer bestimmten Entfernung, die Abnahme ihrer Wirkung in die Ferne sollte einem anderen Gesetze folgen als die der freien Elektricität. Und solche abentheuerliche Vorstellungen konnten gefaßt werden, während die Arbeiten eines Franklin, Wilke, Aepinus, Coulomb und Poisson schon seit lange vorlagen. Die Vorstellung einer gebundenen Elektricität hat nicht allein eine große Menge von Abhandlungen hervorgerufen, die selbst in ihren experimentellen Theilen nutzlos vorübergegangen sind, sie ist in die Elemente der Elektricitätslehre eingedrungen, und hat für den Gebrauch des wichtigsten elektrischen Apparats, des Condensators, eine Formel aufstellen lassen, die, obgleich niemals begründet,

bäufig angewendet worden ist. Hierauf habe ich daher näher und ausführlicher einzugehn. Die Theorie des Condensators und der Leydener Flasche wird von Biot, in seinem 1816 erschienenen *Traité* T. 2, p. 365, und nach demselben bis heut in vielen Lehrbüchern folgendermaßen angegeben. Es werde einer isolirten leitenden Platte (Collektortplatte) die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt, und die Menge der dadurch in einer nahestehenden nicht isolirten Platte (Condensatorplatte) erregten Influenzelektricität betrage $-m$, so wird auf der Collektortplatte die Menge m^2 gebunden. Die Collektortplatte befindet sich daher genau in demselben Falle (*cas*), als ob sie nur eine Elektricitätsmenge $1 - m^2$ besäfse und sie wird daher mehr Elektricität aufnehmen können, als wenn sie einzeln ohne Condensatorplatte aufgestellt wird. Ist E die grösste Elektricitätsmenge, die sie einzelnstehend aufnimmt, so wird sie in der Nähe der Condensatorplatte so lange fortfahren sich zu laden, bis ihre freie Elektricität E beträgt. Es sey die ganze aufgenommene Elektricitätsmenge A , so hat man

$$A(1 - m^2) = E \text{ oder } \frac{A}{E} = \frac{1}{1 - m^2}. \text{ Dieser Bruch gibt}$$

das Verhältniss der Elektricitätsmengen an, welche die isolirte Platte einzeln und im Apparate aufnimmt, und drückt daher die condensirende Kraft des Apparates aus.

Ich will die Ableitung der Formel, so sonderbar sich dieselbe neben den in dem angeführten Werke vorgetragenen Prinzipien Coulombs und Poissons ausnimmt, übergehen und nur die Formel selbst betrachten. Dass dieselbe nicht allein zur Veranschaulichung des Condensationsphänomens, sondern zur wirklichen Berechnung bestimmt ist, geht aus der Folge hervor, wo ein Mittel angegeben wird, um für einen gegebenen Condensator die Menge der Influenzelektricität im Verhältnisse zur erregenden oder m zu bestimmen. Aus dem gefundenen Werthe soll denn die verstärkende Kraft des Apparats berechnet werden. Ich habe mich vergebens nach Versuchen oder nach Stich haltenden theoretischen Betrachtungen umgesehen,

die dem Biot'schen Ausdrucke zu Grunde liegen könnten; derselbe scheint nur die willkürliche Umwandlung eines von Aepinus gegebenen Ausdrucks zu seyn. Um nämlich zu erklären, weshalb die Leydener Flasche eine grosse Ansammlung von Elektricität gestattet und zwar eine desto grössere, je dünner das Glas derselben ist, betrachtet Aepinus¹⁾ ein einzelnes elektrisches Theilchen im Innern der Flasche und nennt die Wirkung der inneren Belegung auf dasselbe r , die der äusseren r' . Unter der Annahme, dass die angesammelte Elektricität auf der inneren Belegung gleichförmig vertheilt sey, wird der analytische Ausdruck gegeben für die Kraft, mit welcher diese Menge abgestossen wird und zwar für den Fall, wo die innere Belegung in der Flasche allein steht, und für den, wo ihr die äussere gegenübersteht. Soll die abstossende Kraft in beiden Fällen dieselbe seyn, so müssen verschiedene Elektricitätsmengen angewendet werden, und es findet sich, dass wenn die Menge bei alleinstehender Belegung γ beträgt, dieselbe bei Anwendung der Flasche $\frac{\gamma}{1 - \left(\frac{r'}{r}\right)^2}$ seyn muss. Von dem unbekannten

Werthe $\frac{r'}{r}$ lässt sich sogleich einsehen, dass er kleiner als 1 ist, weil nämlich die äussere Belegung der Flasche von dem betrachteten elektrischen Theilchen entfernter ist, als die innere, und dass er sich desto mehr der Einheit nähern werde, je näher die Belegungen zusammenrücken. Daraus schließt denn Aepinus, dass eine Leydener Flasche stets mehr Elektricität aufnehmen könne, als die innere Belegung allein, und dass eine Flasche, die bis zu ihrem Maximum geladen werde, eine desto grössere Elektricitätsmenge besitze, je dünner das Glas derselben ist. Von einer Berechnung des Ausdrucks $\frac{1}{1 - \left(\frac{r'}{r}\right)^2}$ ist bei Aepinus nicht

die Rede und kann auch jetzt nicht die Rede seyn, da der

1) *Tentamen theorieae etc.*, p. 58.

Werth $\frac{r'}{r}$ für einen bestimmten Fall weder theoretisch noch experimentell auch nur näherungsweise angegeben werden kann. Anders ist es mit dem von Biot an die Stelle jenes Werthes gesetzten m , da dieses eine bestimmt definierte Grösse und, wie ich später zeigen werde, hinreichend genau in Zahlen zu finden ist. Die Einführung dieser Grösse, welche die Menge der in der Condensatorplatte erregten Influenzelektricität bezeichnet, und die angegebene Abhängigkeit der Verstärkungszahl des Condensators von derselben ist theoretisch nirgends gerechtfertigt. Erwägt man ferner, was unter Verstärkungszahl eines gegebenen Condensators verstanden wird, so ergiebt sich, dass nach einer solchen im Allgemeinen gar nicht gefragt werden kann. Wir haben eine leitende Scheibe, die Collektorplatte, auf irgend eine Weise verbunden mit einem Körper, auf dem sich Elektricität entwickelt. Diese Elektricität wird sich auf dem ganzen Körpersysteme, das aus Scheibe, Verbindungsstück und Elektricitätsquelle besteht, ins Gleichgewicht setzen und der Scheibe wird davon eine gewisse Menge zukommen. Der Versuch wird wiederholt, während der Collektorplatte die abgeleitete Condensatorplatte genähert ist. Nach bekannter Erfahrung tritt hier eine andere Anordnung der Elektricität ein und die Collektorplatte erhält mehr Elektricität als früher. Das Verhältnis dieser beiden der Collektorplatte zukommenden Elektricitätsmengen giebt die Verstärkungszahl des Condensators und offenbar hängt diese ab von Form und Dimensionen der einzelnen Theile des Körpersystems, auf dem sich die Elektricität anordnet, also, die Condensatorplatten constant gesetzt, von Form und Dimensionen des Verbindungsstücks, des Elektricität entwickelnden Körpers, von der Stelle, an welchem der Körper das Verbindungsstück und dieses die Collektorplatte berührt, von der Lage des Ableitungsdrähts der Condensatorplatte, und endlich von der Entfernung der beiden Platten von einander. Nach der Verstärkungszahl kann daher nur bei einem bestimmten Versuche gefragt werden;

sollte für diese Zahl ein analytischer Ausdruck je entwickelt werden, so könnte derselbe nur für diesen Fall, und für keinen andern, Geltung haben. Der Biot'sche Ausdruck, der für alle Versuche gelten soll, die an demselben Condensator angestellt werden, kann daher nur eine empirisch gefundene erste Annäherung seyn — aber auch, dass sie diese ist, ist niemals gezeigt worden — eine Annäherung, die keinen praktischen Nutzen gewähren würde. Denn die Bestimmung der Grösse m , nach welcher die Verstärkungszahl berechnet werden soll, ist schwieriger als die directe Ermittelung dieser Zahl selbst, und das Mittel, welches Biot zu dieser Bestimmung angiebt, zeigt deutlich, dass er dieselbe niemals versucht habe. Es erscheint daher nöthig,

den Ausdruck $\frac{1}{1-m^2}$ für die Verstärkungszahl des Condensators gänzlich zu verwerfen und die Wirkungsweise des Apparats, ohne Berücksichtigung der Menge erregter Influenzelektricität, von der verminderten Dichtigkeit bestimmter Punkte der Collektorplatte herzuleiten.— Der Condensator wird zur Ansammlung von Elektricität in zwei verschiedenen Fällen gebraucht: bei Elektricitätsquellen mit constanter Dichtigkeit, wo er den Namen Condensator im engeren Sinne führt, und bei einer Elektricitätsquelle mit beliebig zu steigernder Dichtigkeit, wo er Ladungsplatte, in veränderter Form Leydener Flasche, genannt wird. In beiden Fällen beruht seine Wirksamkeit auf einer veränderten Anordnung der Elektricität auf der isolirten Platte des Apparats, nach welcher bestimmte Stellen derselben durch Einwirkung der abgeleiteten Platte eine geringere Dichtigkeit zeigen als früher, während die Dichtigkeit anderer Stellen nothwendig vergrössert wird. Bei dem Gebrauche des eigentlichen Condensators kann es nur als Erfahrungssatz hingestellt werden, dass die Elektricitätsquelle von constanter Dichtigkeit an eine solche Stelle der verringerten Dichte der Platte angelegt, der Platte eine grössere Elektricitätsmenge zu geben vermag als früher. Das Verhältnis der Verringerung der Dichtigkeit an der Anlegungsstelle zu der

Vergrößerung der aufgenommenen Elektritätsmenge ist veränderlich mit Form, Größe und relativer Lage der Elektritätsquelle und der Collektorplatte und kann selbst in den einfachsten Fällen theoretisch nicht angegeben werden. Dieser Uebelstand, durch nicht überwundene analytische Schwierigkeiten herbeigeführt, fällt fort bei der zweiten, bei genauen Messungen jetzt allein bestehenden Anwendung des Condensators als Ladungsplatte. Hier wird der isolirten Platte Elektricität in beliebiger Menge zugeführt und diese kann so lange gesteigert werden, bis das Ausströmen der Elektricität in die Luft beginnt. Dieses Ausströmen tritt an dem Zuleitungsdrahte der Platte am frühesten ein, und würde bei alleinstehender Collektorplatte nur die Aufnahme einer geringen Elektritätsmenge gestatten. Durch Hinzufügung der Condensatorplatte wird die Anordnung der Elektricität verändert, die Dichtigkeit am Zuleitungsdraht vermindert und somit eine neue Aufnahme von Elektricität möglich gemacht. Da hier der Apparat bei Untersuchung der verminderten Dichtigkeit und bei dem Gebrauche unverändert bleibt, so haben die Messungen jener Dichtigkeit einen directen Bezug zur Anwendung des Apparats. Bei demselben Körper, er mag einzeln oder einem anderen nahe stehen, verhalten sich die Dichtigkeiten desselben Punktes genau wie die Elektritätsmengen, die dem Körper mitgetheilt werden, und wenn sich daher findet, daß an dem Zuleitungsdrahte einer Ladungsplatte die Dichtigkeit durch Hinzufügung der Condensatorplatte auf die Hälfte gesunken ist, so folgt daraus, daß der Apparat noch einmal so viel Elektricität aufnehmen kann, als die einzeln stehende Collektorplatte derselben. Ich habe, zum Belege dieser Sätze, Messungen an Condensatoren angestellt, bei verschiedener Größe der Platten und bei verschiedener Entfernung derselben. Einige Versuche sind in doppelter Weise, mit Hilfe des Funkenmikrometers und der Torsionswaage, angestellt. Obgleich die letzteren Versuche bei weitem die genaueren sind, so habe ich die Mittheilung der ersteren nicht unterdrückt, weil sie anschaulicher sind, und den

Nutzen des Condensators deutlicher hervortreten lassen. Es hat sich gezeigt, dass der Vortheil der grösseren Condensatoren nicht, wie Biot nach seiner Formel aussagt, darauf beschränkt ist, eine absolut grössere Ansammlung von Elektricität zu gestatten, sondern dass die Ansammlung auch relativ grösser ist, so dass der grössere Condensator auf der Flächeneinheit mehr Elektricität aufzunehmen vermag als der kleinere. Bei vergrösserter Entfernung der Platten fand sich die aufzunehmende Elektricitätsmenge im Allgemeinen nicht im umgekehrten Verhältnisse dieser Entfernungen verringert, sondern in einem geringeren. Der Einfluss der Länge des Zuleitungsrathes der Collektortplatte, der Lage des Ableitungsrathes der Condensatorplatte ist in einem bestimmten Falle aufgezeigt worden. Endlich habe ich eine Methode angegeben und ausgeführt, die Grösse m zu bestimmen, das Verhältnis der erregten Influenzelektricität zu der mitgetheilten erregenden Elektricität. Die gewonnenen Zahlenwerthe sind übersichtlich zusammengestellt, aber durch keinen algebraischen Ausdruck dargestellt worden; analytisch liefs sich ein solcher, bei der grossen Complicirung der Bedingungen, nicht entwickeln und ihn empirisch aufzusuchen, zeigte sich keine Veranlassung, da derselbe nur für die angewandte Form und Dimensionen der Condensatoren strenge Gültigkeit haben könnte. Algebraische Ausdrücke aber, die nur den Werth einer abgekürzten Tabelle haben, dürfen, nach meiner Meinung, in der Physik nur da aufgestellt werden, wo der Gebrauch sie verlangt. So wünsche ich denn, dass diese Untersuchung die Veranlassung werde, die Influenzerscheinungen und die Theorie des Condensators auf eine naturgemässere Weise vorzuführen, als bisher in den meisten Lehrbüchern geschehen; sollte sie fernere Untersuchungen über die Eigenschaften der gebundenen Elektricität, wie seit lange bis in die neueste Zeit hinein periodisch erschienen sind, zu verhindern im Stande seyn, so würde dieselbe der Wissenschaft einen bei Weitem grösseren Dienst geleistet haben, als der Umfang dessen, was sie bietet, vermuthen liefse.

A. Veränderung der Dichtigkeit an der Collektorplatte durch Einfluss der Condensatorplatte.

a) Versuche mit dem Funkenmikrometer.

§. 1.

Zwei ebene Messingscheiben 81,6 par. Lin. im Durchmesser, $\frac{1}{4}$ " dick, mit abgerundeten Rändern, sind auf dem Mittelpunkt einer Fläche mit cylindersförmigen halbkugelig geschlossenen Fortsätzen von $14\frac{1}{2}$ " Länge und $11\frac{7}{8}$ " Dicke versehen. Diese Fortsätze sind in der Axe durchbohrt, so dass darin ein Zuleitungsdrat mittelst Klemmschraube befestigt werden kann, und haben winkelrecht auf ihrer Axe eine Höhlung, in welcher ein 8" 2" langer mit Schellack überzogener Glasstab gekittet ist. Mit Hülfe dieser Glasstäbe und geeigneter Fussstücke sind die Scheiben auf einem Brette winkelrecht aufgestellt. Die eine Scheibe, die Condensatorplatte genannt werden soll, steht auf einem Charniere, durch das sie aus der verticalen Lage bis unter das Fussbrett gedreht werden kann, die andere Scheibe, Collektorplatte genannt, steht auf einem Schlitten, der sich auf einem horizontalen mit einer Eintheilung versehenen Prisma bewegt und daselbst beliebig festgestellt werden kann. Die freien Flächen der Scheibe konnten so in Berührung gebracht und in ihrer Centrallinie von einander entfernt werden, sie bilden also, entfernt von einander, einen condensirenden Apparat, in welchem die isolirende Zwischenschicht aus Luft besteht. Bei dem Gebrauche erhielt der Fortsatz der Condensatorplatte einen horizontalen Messingdraht von 10" 11" Länge u. $\frac{5}{8}$ " Dicke, der in einer kleinen Kugel endigte, die durch einen Draht mit den Gasröhren des Hauses verbunden war. Nachdem die Collektorplatte Elektricität erhalten hatte, wurde die Condensatorplatte heruntergeschlagen und dadurch die Condensirung, das heisst die veränderte Anordnung der Elektricität auf der ersten Platte, aufgehoben.

§. 2.

Das Funkenmikrometer besteht aus zwei auf Glasfüßen

isolirten Messingkugeln von 7" Dicke, von welchen die eine feststeht, die andere auf einem Schlitten mittelst Mikrometerschraube der ersten genähert werden kann. Der Maassstab, welcher die Entfernung bestimmte, ist in 0,2 par. Lin. getheilt, der Vernier giebt 0,02, der Kopf der Schraube 0,0023 Linien an. Die feststehende Kugel wurde mit dem Fortsatze der Collektorscheibe durch einen 8" 5" langen und $\frac{1}{4}$ " dicken Kupferdraht verbunden und bildete demnach das Ende des Zuleitungsrahtes derselben. Während die andere Kugel, zu den Gasröhren abgeleitet, 3 bis 4 Linien von der ersten entfernt stand, wurde die Collektorplatte elektrisiert und dann durch Nähern der Kugeln entladen. Die Schlagweite, bei welcher die Entladung eintrat, giebt ein Maass der Dichtigkeit an dem nächsten Punkte der feststehenden Kugel, die daher bestimmt werden konnte, sowohl wenn die Collektorplatte allein stand, als wenn die Collektorplatte ihm in einer bestimmten Entfernung gegenüberstand.

§. 3.

Die Collektorplatte wurde alleinstehend durch Berührung mit einer geladenen Leydener Flasche elektrisiert; ihre Schlagweite wurde zuerst bestimmt, als die Condensatorplatte entfernt blieb, alsdann nachdem diese ihr genähert war. Diese beiden Schlagweiten werden verglichen unter der Annahme einer gleichen Elektricitätsmenge in der Platte. Es war durch Messung an der Torsionswaage ausgemacht worden, dass die Flasche 0,014 ihrer Elektricitätsmenge der Scheibe abgab, bei der zweiten Berührung derselben also weniger als bei der ersten, zugleich fiel die Elektricitätsmenge der zweiten Berührung durch die Zerstreuung in die Luft geringer aus. Um diese Ungleichheit der Elektricitätsmenge zu corrigiren, bediente ich mich der Methode der abwechselnden Bestimmung, und verglich eine einzelne Schlagweite mit dem Mittel der beiden sie einschliessenden Schlagweiten. Es wurden gewöhnlich acht Schlagweiten bestimmt, die hiernach sechs Werthe des gesuchten Verhältnisses lie-

ferten. Die Zeit zwischen zwei Bestimmungen betrug nahe 50 Secunden.

§. 4.

Verhältnis der Schlagweiten am Zuleitungsdrähte der Collektorplatte bei Näherung der Condensatorplatte und ohne dieselbe.

Entfernung der Scheiben 2 Linien.

(Schlagweite in par. Linien.)

Ohne Condens.	Mit Condens.	Mittel.	Verhältnis.
1,475	0,150	1,406	0,106
1,337	0,135	0,142	0,106
1,270	0,130	0,132	0,104
1,219	0,128	0,124	0,105
	0,126		0,105

5 Linien.

1,407	0,371	1,353	0,274
1,300	0,349	0,360	0,277
1,251	0,327	0,275	0,273
1,194	0,320	0,338	0,270

10 Linien.

1,354	0,571	1,287	0,443
1,221	0,538	0,554	0,453
1,147	0,501	1,184	0,454
1,083	0,487	0,519	0,452

20 Linien.

1,554	1,023	1,504	0,680
1,454	0,981	1,002	0,689
1,394	0,947	1,424	0,688
1,367	0,932	0,964	0,691

Entfernung der Scheiben 30 Linien.

(Schlagweite in par. Linien.)

Ohne Condens.	Mit Condens.	Mittel.	Verhält- niss
1,319	1,026	1,282	0,800
1,246	0,970	1,229	0,801
1,212	0,948	0,959	0,791
1,179		1,195	0,793
	0,926	0,937	0,794
			0,794

50 Linien.

1,551	1,391	1,521	0,914
1,491		1,373	0,920
1,460	1,356	1,475	0,919
1,411	1,304	1,325	0,908
		1,435	0,909
	1,276	1,290	0,914
			0,914

§. 5.

Die Schlagweite an dem Ende des normal aufgesetzten langen Zuleitungsdrähtes zur Collektorplatte wurde hiernach bei derselben Elektricitätsmenge um desto geringer gefunden, je näher derselben die Condensatorplatte gestellt ist, und zwar hat man folgende Schlagweiten, wenn die Schlagweiten bei ganz entfernter Condensatorplatte der Einheit gleichgesetzt ist.

Entfernung der Platten . . . ∞ 50" 30" 20" 10" 5" 2".
Schlagweite an d. Coll.-Platte 1 0,914 0,794 0,687 0,451 0,272 0,105.

Wird der Apparat als Ladungsplatte zur Ansammlung von Elektricität gebraucht, so geben die Schlagweiten die Größe der Ansammlung an, welchen derselbe bei der verschiedenen Entfernung seiner Platten gestattet. Da nämlich am Knopfe des normalen Zuleitungsdrähtes eine Ausströmung der Elektricität am frühesten eintritt, so wird die Ansammlung der Elektricität auf der Platte so lange stattfinden, als die Schlagweite an dem Knopfe eine bestimmte Größe nicht überstiegen hat. Diese, von dem Zustande der Luft abhängige Größe werde zur Einheit angenommen, so zeigt

die Schlagweite bei verschiedener Stellung der Condensatorplatte, in welchem Verhältnisse die Elektricitätsmenge noch vermehrt werden darf, damit sie die Einheit erreicht. Die Elektricitätsmengen, welche der Condensator bei verschiedener Einrichtung aufnehmen kann, verhalten sich daher umgekehrt wie die zugehörigen Schlagweiten. Bei der Entfernung der Platten von 2 Linien kann die Collektorplatte nahe 9,5 mal, bei Entfernung von 50 Linien nur 1,09 mal soviel Elektricität aufnehmen, als wenn sie allein steht. Man sieht, dass in kleinen Entfernungen, die bei dem angewandten Condensator bis 5 Linien gehen, die Elektricitätsmengen, welche von der Collektorplatte aufgenommen werden können, nahe im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen der Platte stehen, von da an aber in einem geringeren Verhältnisse abnehmen. Es wird dies in einem späteren Paragraphe bestätigt werden. Der Zuleitungsdrat übertraf in diesen Versuchen den Durchmesser der Platten um $\frac{1}{4}$, bei einer grösseren Länge desselben wurden die Schlagweiten nur wenig geändert, wie die folgenden Versuche zeigen, in welchen die Collektorplatte mit der festen Kugel des Mikrometers durch einen 18" 3" langen Draht verbunden war.

Entfernung der Scheiben 5 Linien.

(Schlagweite in par. Linien.)

Ohne Condens.	Mit Condens.	Mittel.	Verhältniss.
1,460	0,409	1,430	0,286
1,400	0,394	1,387	0,280
1,380	0,387	1,380	0,274
1,374	0,380	1,351	0,276
1,329	0,370	0,370	0,278
	0,360		0,279
10 Linien.			
1,295	0,635	1,280	0,496
1,266	0,626	1,259	0,494
1,253	0,617	1,243	0,482
1,233	0,591	1,223	0,475
	0,588		0,477
	0,586		0,486

Entfernung der Scheiben 20 Linien. (Schlagweite in par. Linien.)

Ohne Condens.	Mit Condens.	Mittel.	Verhältniss.
1,509	1,005	1,488	0,676
1,467	1,002	1,002	0,683
1,400	1,000	1,433	0,697
1,347	0,974	0,987	0,700
		1,377	0,709
		0,957	0,710
	0,940		0,696

Die Schlagweiten, die oben bei dem 101 Linien langen Zuleitungsdrähte 0,272 0,451 0,687 waren, wurden hier bei dem 219 Linien langen Drahte 0,279 0,486 0,696 gefunden.

§. 6.

Messung der von der Collektorplatte aufgenommenen Elektricitätsmenge.

Wird an den Knopf des Zuleitungsdrähte der alleinstehenden Collektorplatte ein leitender elektrisirter Körper angelegt, so verbreitet sich die Elektricität über den ganzen zusammengesetzten Leiter nach eigenen Gesetzen, und die elektrische Anordnung auf den einzelnen Theilen ist von Form und Dimensionen derselben abhängig. Trennt man daher den berührenden Körper von dem Zuleitungsdrähte, so hat dieser und die Collektorplatte eine gewisse Menge Elektricität aufgenommen und der Knopf des Drahtes hat eine bestimmte Schlagweite. Diese Schlagweite wird in einem bestimmten Verhältnisse vermindert, wenn die Condensatorplatte der Collektorplatte nahe gestellt wird (§. 4). Vollführt man die Berührung des Knopfes mit dem elektrisirten Körper, während Collektor- und Condensatorplatte einander nahe stehn, so tritt eine Anordnung der Elektricität auf dem zusammengesetzten Leiter ein, die von der früheren völlig verschieden ist, weil zu den früheren Bedingungen derselben noch die Form und Dimensionen der Condensatorplatte und die Entfernung von der Collektorplatte hinzutreten. In dieser neuen Anordnung erhält die Collektorplatte eine grösere Elektricitätsmenge als früher, die

die sich dann nach Entfernung des elektrisierten Körpers und der Condensatorplatte merkbar machen lässt. Hierauf beruht der Gebrauch des Condensators zur Anhäufung der Elektricität von einer Elektricitätsquelle mit constanter Dictheit. Während diese einem Elektroskope eine nicht merkbare Elektricitätsmenge mittheilt, kann die Elektricitätsmenge bedeutend vermehrt werden, indem man den Zuleiter des Elektroskops mit einer Collektorplatte versieht, derselben eine Condensatorplatte nahe stellt und letztere nach der Berührung entfernt. Das Verhältniss der Elektricitätsmenge der Collektorplatte, je nachdem sie bei der Berührung allein gestanden oder in der Nähe der Condensatorplatte, heisst die Verstärkungszahl des Condensators, die begreiflich für dasselbe Instrument nicht constant ist, sondern von Form und Dimensionen des angelegten Körpers und dem Berührungspunkte desselben mit der Collektorplatte abhängt. Im Allgemeinen lässt sich nur aussagen, dass die Verringerung der Schlagweite am Berührungspunkte der freien Collektorplatte, durch Näherung der Condensatorplatte, stets eine Vermehrung der von der Collektorplatte angenommenen Elektricitätsmenge bedingt, während das Verhältniss der Vermehrung zu der Verringerung mit jedem Versuche variiert.

§. 7.

Ich will hier die Messung der Elektricitätsmenge in einem bestimmten Falle anführen, an demselben Condensator, für den §. 4 die Schlagweiten ermittelt worden sind. Eine Leydener Flasche mit einer Belegung von $\frac{1}{2}$ Quadratfuß, deren Glascylinder 41 Linien im äusseren Durchmesser hatte und deren Zuleitungsdrat mit Kugel 13 Zoll lang war, wurde als elektrisirter Körper benutzt. Während die Kugeln des Funkenmikrometers 4 Lin. entfernt standen, wurde der Knopf der Flasche an die feststehende Kugel des Mikrometers angelegt und zwar so, dass der Zuleitungsdrat der Flasche mit dem des Condensators einen rechten Winkel bildete. Die Collektorplatte stand dabei allein und die Schlagweite derselben wurde nach Entfernung der Flasche gemessen. Alsdann wurde die Condensatorplatte

satorplatte der Collektorplatte nahe gestellt, und die Kugel aufs Neue mit der Flasche berührt. Als darauf die Flasche und dann die Condensatorplatte entfernt waren, wurde die Schlagweite wieder gemessen. Der Elektricitätsverlust der Flasche durch die erste Berührung und durch die Luft wurde nicht in Rechnung gebracht. Der Versuch wurde mehrmal wiederholt. Das Verhältnis der gemessenen Schlagweiten ist, da sie beide bei freistehender Collektorplatte genommen wurden, zugleich das Verhältnis der Elektricitätsmengen, welche dieselbe mit und ohne Hülfe der Condensatorplatte aufgenommen hatte.

Verhältnis der von der Collektorplatte ohne und mit Condensirung aufgenommenen Elektricitätsmengen.

Entfern. der Scheiben 10 Lin. Entfern. der Scheiben 30 Lin.

Schlagweite der aufgenommenen Elektricitätsmenge.			Schlagweite der aufgenommenen Elektricitätsmenge.		
Ohne Condensirung.	Mit Condensirung.	Verhältnis der Elektricitätsmenge.	Ohne Condensirung	Mit Condensirung.	Verhältnis der Elektricitätsmenge.
1,100	2,593	2,35	0,82	1,06	1,29
1,063	2,453	2,30	0,787	1,04	1,32
1,013	2,373	2,34	0,78	1,022	1,31
		2,33	0,78	1,02	1,31
					1,31
20 Linien.			50 Linien.		
1,304	1,969	1,51	0,962	1,062	1,10
1,32	2,02	1,53	0,920	1,020	1,11
1,30	1,96	1,51	0,902	1,013	1,12
		1,52			1,11

Geringere Entfernungen der Scheiben als 10" konnten nicht angewandt werden, weil dabei entweder die eine Schlagweite zu gering ausfiel, um gemessen werden zu können, oder die andere so groß wurde, dass die Elektricität zischend ausströmte. Die Collektorplatte, welche alleinstehend von der Leydener Flasche die Elektricitätsmenge 1 empfing, hat also durch die Einwirkung der in verschiedene Entfernung gestellten Condensatorplatte folgende Mengen aufgenommen:

Entfernung der Platten \propto 50" 30" 20" 10"
Aufgenommene Elektricitätsmenge 1 1,11 1,31 1,52 2,33.

Diese Elektricitätsmengen stehen nahe im umgekehrten Ver-

hältnisse der Schlagweiten, welche an dem Berührungspunkte der Collektorplatte mit der Flasche beobachtet wurden, wenn die Platte mit constanter Elektricitätsmenge geladen ist und die Condensatorplatte derselben genähert wird. Nimmt man nämlich von den im §. 5 ermittelten Schlagweiten die umgekehrten Werthe, so erhält man für die hier angewandten Entfernungen die Zahlen

1 1,09 1,25 1,45 2,21.

Der Unterschied dieser Zahlen und der direct gefundenen Elektricitätsmengen röhrt nicht allein von Beobachtungsfehlern her. Denn wenn auch die Abhängigkeit der Elektricitätsmenge von dem umgekehrten Werthe der Schlagweite an dem Berührungspunkte der Collektorplatte feststeht, so leuchtet es ein, dass die Annäherung an die Proportionalität beider Größen in jedem speciellen Versuche eine andere ist und mit Form und Dimensionen des an die Collektorplatte angelegten Körpers variiren muss.

§. 8.

Ich habe die Versuche mit dem Funkenmikrometer ange stellt und aufgeführt, weil sie eine anschauliche Erläuterung der Theorie des Condensators und der doppelten Anwendung desselben gewähren. Die an einem Punkte der Collektorplatte verminderte Schlagweite lässt begreiflich finden, dass ein daran angelegter Körper, mit großer Elektricitätsmenge von constanter Dichtigkeit, der Platte mehr Elektricität als früher zu geben im Stande sey, und lehrt den Gebrauch des unter dem Namen Condensator bekannten Apparats kennen. Ganz direct wird der Gebrauch der Ladungsplatte (in anderer Form der Leydener Flasche) damit aufgezeigt, da der Collektorplatte, die einzelnstehend nur Elektricität bis zu einer bestimmten Schlagweite aufnimmt, nachdem diese durch Condensation vermindert worden, durch einen Körper mit beliebiger Elektricitätsmenge von variabler Dichte so lange Elektricität mitgetheilt werden kann, bis die erste Schlagweite erreicht ist.

Aber diese Versuche weiter auszudehnen, hielt ich nicht für ratsam, und zwar nicht allein der geringen Schärfe

wegen, mit welcher Schlagweiten gemessen werden können, sondern eines Umstandes wegen, welcher dieselben wenig geeignet macht, einer künftigen analytischen Untersuchung zur Stütze zu dienen. Hierbei kommt es nämlich auf die Kenntniß der durch Einwirkung der Condensatorplatte veränderten Dichtigkeit an Punkten der Collektorplatte an, die durch das Funkenmikrometer nicht erlangt werden kann. Die vollkommen zur Erde abgeleitete Kugel des Mikrometers, die der mit der Collektorplatte verbundenen Kugel zur Messung der Schlagweite genähert wird, wirkt nämlich selbst auf die Dichtigkeit des untersuchten Punktes ein. Man hat daher den sehr zusammengesetzten Fall vor sich, daß eine Scheibe mit Fortsatzdraht und Kugel elektrisiert ist, diese Influenzelektricität erregt in einer Scheibe und einer Kugel, und zwischen diesen drei auf gesonderten Körpern befindlichen Elektricitätsmengen ein Gleichgewicht sich herstellt. Es wird hier die Form des Funkenmikrometers und die Gröfse der beweglichen Kugel auf die gesuchte Anordnung einwirken, Bedingungen, die der untersuchten Frage fremd sind. Ich habe mich daher von hier an der Prüfungskugeln und der Torsionswaage bedient, um die unter den einfachsten Bedingungen stattfindenden Dichtigkeiten der Collektorplatte zu bestimmen.

b) Versuche mit der Torsionswaage.

Durch Condensation verminderte Dichtigkeit.

§. 9.

Es wurde der §. 2 beschriebene Apparat angewandt, von dem die bewegliche Kugel des Funkenmikrometers entfernt worden war. Die Collektorplatte bestand daher aus der 81 Linien breiten Scheibe, deren Fortsatz durch einen 101 Lin. langen normalen Draht mit einer 7 Lin. dicken Kugel verbunden blieb. An dem äußersten Punkte dieser Kugel, dem Ende also des zur Collektorplatte führenden Drahtes, wurde die Dichtigkeit gemessen. Die Messung geschah auf die früher beschriebene¹⁾ Weise mit gepaarten

1) Poggend. Ann. Bd. 71, S. 366.

Prüfungskugeln von 1 Lin. rad., die successiv in die Torsionswaage gebracht wurden. Die eine Kugel war an den bezeichneten Punkt angelegt worden bei freistehender Collektorplatte, die andere an denselben Punkt, nachdem die Condensatorplatte derselben gegenüber gestellt war. Es wird das Verhältniss der zuerst gemessenen Dichtigkeit bei der Condensirung zu der ohne dieselbe angegeben:

Entfernung der Platten.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen. Beobachtet.	Torsionen. Berechnet.	Verhältniss der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältniss.
2 Linien						
	4		67°			
	3	3,7	369	400°,8	0,167	
		2,5	349			
			55,5			
	4	3,1	293,5	314,3	0,179	0,173
		3,2	273,5			
3	3		133			
	4	3,9	524,5	557,3	0,239	
		2,5	504,5			
			114			
	4	3,2	466	490,9	0,232	0,235
		2,7	446			
4	4		101			
	3	3,3	336,5	361,8	0,279	
		2,8	316,5			
			82,3			
	4	2,8	261,5	280,4	0,293	0,286
		3,2	241,5			
5	4		162			
	3	3,2	467	491	0,330	
		2,8	447			
			130			
	4	3,2	352	381,8	0,340	0,335
		2,3	332			
10	4		211,3			
	3	3,4	405,7	431,4	0,490	
		2,8	385,7			
			177			
	4	3,6	331	357,6	0,494	0,492
		2,9	311			
15	3		267			
	4	3	430,3	452,2	0,590	
		2,9	410,3			
			200			
	4					
	3	2,7	313,5	333,3	0,600	0,595
		2,9	293,5			
20	3		345			
	4	4,1	474	502,9	0,686	

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
			Beobachtet.	Berechnet.		
50 Linien		3'	454°			
	4		221,5			
	3	3	308,5	328,5	0,680	0,683
		3,2	288,5			
	3		319,5			
	4	3,7	326,5	353	0,905	
		3	306,5			
	4		267,5			
	3	3	281,9	300,7	0,890	0,897
		3,4	261,9			

Das Ende des Zuleitungsdrähtes der Collektorplatte, das durch eine mitgetheilte Elektricitätsmenge die Dichtigkeit 1 besitzt, nimmt hiernach durch Wirkung der in verschiedene Entfernung gestellten Condensatorplatte die folgenden Dichtigkeiten an.

Entfern. der Platten ∞ 50" 20" 15" 10" 5" 4" 3" 2"

Dichtigkeiten . . 1 0,897 0,683 0,595 0,492 0,335 0,286 0,235 0,173

Da nach der Einrichtung des Condensators eine Ausströmung der Elektricität zuerst an dem Ende des Zuleitungsdrähtes stattfindet, so ist aus den Dichtigkeiten die Gröfse der möglichen Ansammlungen zu finden. Die Elektricitätsmengen, welche von der Collektorplatte aufgenommen werden können, stehen im umgekehrten Verhältnisse der ermittelten Dichtigkeiten. Geht man von der kleinsten Entfernung aus, so zeigt sich, dass die Dichtigkeiten in einem geringeren Verhältnisse als die Entfernungen zunehmen, und zwar ist dies um so mehr der Fall, je gröfser die Entfernungen sind. Es lässt sich daher aussagen, dass bei sehr geringen Entfernungen die Ansammlung von Elektricität, welche eine Ladungsplatte gestattet, der Dicke ihrer isolirenden Schicht nahe umgekehrt proportional ist.

§. 10.

Es ist oben (§. 5) gezeigt worden, dass eine Verlängerung des Zuleitungsdrähtes einen geringen Einflus auf die durch Condensation verminderten Dichtigkeiten ihres Endes äusser; es wurde jetzt eine Verkürzung desselben versucht. Der bisher gebrauchte Zuleitungsdrat wurde ent-

fernt und eine $4\frac{5}{8}''$ dicke Kugel mit einem kurzen starren Drahte in dem Fortsatze der Collektorplatte befestigt. Das sichtbare Stück des Drahtes mafs $3\frac{1}{2}$ Linien:

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen. Beobachtet.	Berechnet.	Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
2 Linien	4		57°			
	3	3',9	349	374,2	0,152	
		3,3	329			
	3		63,3			
	4	3,1	368,5	400,2	0,158	0,155
		2,1	348,5			
3	3		51,5			
	4	2,8	216	231,6	0,222	
		1,9	206			
	4		81,3			
	3	2,9	340	375	0,217	0,219
		1,8	320			
4	4		137,5			
	3	3	464,5	498,1	0,276	
		1,9	444,5			
	3		97			
	4	2,9	326,5	354,8	0,273	0,274
		2,2	306,5			
5	3		147			
	4	2,7	438,5	467,1	0,314	
		2	418,5			
	4		116,3			
	3	3,2	343	390	0,298	0,306
		1,5	323			
10	4		165			
	3	3,1	316	333,3	0,495	
		3,8	296			
	3		171			
	4	3,9	331	355,5	0,481	0,488
		3,4	311			
15	4		190,7			
	3	2,7	286,3	302,3	0,630	
		3,8	265,3			
	3		162,5			
	4	3,4	240,5	257,2	0,631	0,630
		4,4	220,5			
20	4		265			
	3	3,7	361	389,4	0,680	
		2,8	341			
	3		232			
	4	3,2	311	332,4	0,697	0,688
		3,2	291			
50	4		221			
	3	2,6	236	249,6	0,885	
		4,1	216			
	3		220,5			
	4	2,8	234	247	0,892	0,888
		4,6	214			

Man hat demnach

Entfern. der Scheiben ∞ 50" 20" 15" 10" 5" 4" 3" 2"

Dichtigkeiten . . . 1 0,888 0,688 0,630 0,488 0,306 0,274 0,219 0,155

Während bei den größeren Entfernungen die Dichtigkeiten fast dieselben geblieben sind, wie bei dem längeren Drahte (§. 9) sind sie bei den kleineren wesentlich geändert worden. Doch gilt auch hier der Satz, daß bei geringen Entfernungen der Scheiben die Dichtigkeiten auf der Collektorplatte nahe im umgekehrten Verhältnisse der Entfernungen stehen.

§. 11.

Bei dem Gebrauche des Condensators als Ladungsplatte (Leydener Flasche) ist am Rande der Collektorfläche die Ausströmung entfernt und tritt an demselben später ein als an dem Zuleitungsdrähte. Bei der Anwendung aber des Apparats zur Untersuchung constanter Elektricitätsquellen wird der Rand der Collektorschäiben häufig zur Anlegung des elektrischen Körpers benutzt. Ich habe deshalb die durch Condensirung veränderten Dichtigkeiten nahe dem Rande der Collektorschäibe (auf der hinteren freien Fläche derselben) bestimmt.

Dichtigkeiten am Rande der Collektorschäibe.

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
			Beobachtet.	Berechnet.		
2 Linien	4		97°			
	3	3',4	339	366°,1	0,265	
		2,7	319			
	3		77,5			
	4	3	283,5	304,3	0,255	0,260
		3,1	263,5			
3	4		97,5			
	3	3,4	260,5	278,3	0,350	
		4,1	240,5			
	3		83,5			
	4	3,6	230,8	250,5	0,333	0,341
		4	210,8			
4	4		157,5			
	3	3,4	361	393,5	0,400	
		2,6	341			
	3		126,4			
	4	3,4	285	298,3	0,423	0,412
		3,3	265			

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
			Beobachtet.	Berechnet.		
5 Linien	3		173°,8			
	4	3',6	354,5	385°,6	0,450	
		2,5	334,5			
	4		126			
10	3	2,7	251	267,1	0,471	0,460
		3,6	231			
	3		220,5			
	4	4	328	357,1	0,617	
15		3	308			
	4		231			
	3	3,6	349	374,6	0,616	0,617
		3	329			
20	3		162,5			
	4	3	206,5	220,7	0,736	
		4,6	186,5			
	4		203			
50	3	3,4	262	279,4	0,726	0,731
		4,2	242			
	3		193			
	4	3,2	217,5	233	0,828	
		4,5	197,5			
	4		189,5			
	3	3,3	214,2	228,8	0,828	0,828
		4,9	194,2			
	3		214,5			
	4	2,7	212	224,2	0,956	
		4,8	192			
	4		294,2			
	3	3,2	297	317,7	0,926	0,941
		3,3	277			

Man hat also für den Rand der Collektorscheibe folgende Dichtigkeiten:

Entfern. d. Scheib. ∞ 50" 20" 15" 10" 5" 4" 3" 2"
Dichtigkeiten . . 1,0941 0,828 0,731 0,617 0,460 0,412 0,341 0,260

Die durch Condensation verminderten Dichtigkeiten sind durchweg größer, als die bei den früheren Versuchen, eine Ladungsplatte also, die an ihrem Rande Elektricität ausströmt, erlaubt eine viel geringere Ansammlung von Elektricität, als eine solche, bei welcher die Ausströmung an dem Ende des an ihre Mitte normal angesetzten Zuleitungsdrabtes stattfindet. Ferner aber wird die Verstärkungszahl eines Condensators eine andere und zwar geringer seyn, wenn der zu untersuchende Körper an den Rand, als wenn er an die Mitte desselben angelegt wird.

§. 12.

Dichtigkeitsänderung an einem kleinen Condensator.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass man, je gröfser die Scheiben des Condensators sind, eine desto gröfsere Ansammlung von Elektricität aus derselben Elektricitätsquelle erhält. Biot hat dies dadurch zu erklären geglaubt, dass die gröfsere Collektorscheibe alleinstehend eine gröfsere Elektricitätsmenge aufnehme, als die kleinere¹⁾, Munk af Rossenschöld hat aber darauf aufmerksam gemacht²⁾, dass der ganze Condensator aus gröfsen Scheiben einen gröfseren Vertheilungscoëfficienten habe, das Verhältnis also der ohne und mit Condensation aufgenommenen Elektricitätsmenge bei diesen gröfser sey, als bei kleineren Scheiben. Die folgenden Versuche bestätigen diese Meinung, indem die Verminderung der Dichtigkeiten an einem kleinen Condensator bedeutend geringer gefunden wurde, als in den vorhergehenden Paragraphen. Der dazu angewandte Condensator bestand, wie der grosse, aus zwei vertikal gestellten Scheiben, die zur Berühring gebracht und von einander entfernt werden konnten. Nur stand die Condensatorplatte unverrückbar fest, und die Glasstäbe waren nicht unmittelbar in die cylindrischen Fortsätze (§. 1) eingelassen, sondern mittelst Messingfassungen an denselben befestigt. Die Collektorplatte musste bei jedem Versuche von der Condensatorplatte entfernt werden, was gewöhnlich nur bis $50\frac{1}{3}''$ geschehen konnte; ich überzeugte mich, dass eine gröfsere Entfernung die gemessenen Dichtigkeiten nicht mehr merklich änderte. Folgende sind die Maafse des Apparats. Durchmesser der Scheiben $52''$, Dicke $\frac{1}{4}''$; Hülse der Glasstäbe $6\frac{1}{2}''$ lang, $6\frac{1}{2}''$ Durchmesser. Der cylindrische halbkugelig geschlossene Fortsatz der Collektorscheibe $11\frac{3}{4}''$ lang, $6\frac{3}{4}''$ dick. In dem Fortsazze der Condensatorscheibe war der starre $131''$ lange Messingdraht befestigt, (zu gleichem Zwecke bei den grossen Scheiben angewandt) (§. 1), der normal auf der Fläche der Scheibe stand und dessen

1) *Traité de physique*, T. II., p. 367.

2) *Poggend. Ann.* Bd. 69, S. 237.

Ende zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet war. Es wurde die Dichtigkeit des äussersten Punktes an der Collektorplatte untersucht bei verschiedener Entfernung der Scheiben, die wegen der schnellen Zunahme der Dichtigkeit nur bis 15" ausgedehnt wurde.

§. 13.

Dichtigkeiten an dem Fortsatze der Collektorplatte.

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen. Beobachtet.	Berechnet.	Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
2 Linien	3		74°			
	4	3'	293	315°,7	0,234	
		1,4	283			
	4		58,7			
	3	2,5	234	234,5	0,231	0,232
		1,3	224			
3	3		86			
	4	2,9	244	260,5	0,330	
		3,8	224			
	4		62			
	3	2,1	176,5	188,2	0,329	0,330
		1,9	166,5			
4	4		120,5			
	3	2,9	277	304,4	0,396	
		2,3	257			
	3		95,7			
	4	3,1	223,5	244,7	0,391	0,393
		3,2	203,5			
5	4		88,5			
	3	3	188	200,2	0,442	
		2,6	178			
	3		79			
	4	2,3	167	177,6	0,444	0,443
		2,3	157			
6	3		73			
	4	2,4	141,5	149,7	0,501	
		3,1	131,5			
	4		55			
	3	3,1	100,5	111,6	0,492	0,496
		3,1	90,5			
8	4		79			
	3	3,1	121,5	132,4	0,596	
		3,1	111,5			
	3		71			
	4	2,5	114	121,3	0,585	0,590
		3,7	104			
10	4		160			
	3	2,1	221	229,7	0,696	
		2,5	211			
	3		131,5			

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
			Beobachtet.	Berechnet.		
15 Linien	4	2,8	182°	193°	0,681	0,688
		2,7	172			
	4		148			
	3	3,2	180	192,1	0,770	
		2,8	170			
	3		119			
	4	3,4	145	155,1	0,767	0,768
		3,6	135			

Vergleichen wir diese, an dem Fortsatze einer Collektorscheibe von 52" Durchmesser erhaltenen Dichtigkeiten mit den an einem ähnlichen Punkte einer Scheibe von 81" Durchmesser früher gefundenen (§. 10):

Entfern. der Scheiben ∞ 15" 10" 8" 6" 5" 4" 3" 2"
 Dichtigk. am kl. Cond. 1 0,768 0,688 0,590 0,496 0,443 0,393 0,330 0,232
 - - - gr. - 1 0,630 0,488 0,306 0,274 0,219 0,155

Bei gleicher Entfernung der Scheiben sind die Dichtigkeiten an dem kleinen Condensator grösser als an dem grossen, so dass letzterer nicht nur eine absolut, sondern auch eine relativ grössere Ansammlung verträgt. Um ein Beispiel zu geben: bei 2" Entfernung verträgt der kleine Condensator nur 4,3 von der Elektricitätsmenge, die seine Collektorscheibe alleinstehend aufnehmen kann, der grosse hingegen 6,4 von seiner zur Einheit dienenden Elektricitätsmenge. Wollte man daher zwei kleine Collektorscheiben verbinden, die einzelnstehend dieselbe Elektricitätsmenge aufnehmen könnten, wie eine grosse, so würde nach Hinzufügung der Condensatorscheiben in die Entfernung von 2", der grosse Condensator doch $1\frac{1}{2}$ mal so viel Elektricität aufnehmen können, als der kleine. Es zeigt dies den Vorzug der aus wenigen grossen Flaschen bestehenden Batterien vor den aus mehr Flaschen bestehenden von gleicher Oberfläche. Das Uebergewicht der grossen Condensatoren über die kleinen wird um so grösser, je kleiner die Entfernung ihrer Scheiben ist und verschwindet bei einer grossen Entfernung gänzlich. Nach einer constanten Abhängigkeit des Verhältnisses der Dichtigkeiten von dem Verhältnisse der Durchmesser der Scheiben kann daher nicht die Rede seyn.

In den mitgetheilten Versuchen variiert das Verhältnis der Dichtigkeiten von 1,5 bis 1,2.

§. 14.

Abhängigkeit der Dichtigkeiten des Collektors von der Ableitung der Condensatorplatte.

Man pflegt im Allgemeinen von der Ableitung der Condensatorplatte zu reden, ohne Angabe der Art, wie diese Ableitung eingerichtet gewesen, und in der That begnügt man sich oft damit, die Platte an einer beliebigen Stelle mit dem Finger zu berühren. Wie sich nun aber schon theoretisch einsehen lässt, dass die Stelle der Berührung, die Form und Lage des ableitenden Körpers einen Einfluss auf die Ansammlung der Elektricität auf der Collektorplatte haben müsse, so schien es mir nicht überflüssig, durch den Versuch zu zeigen, dass dieser Einfluss keineswegs unbedeutend und selbst bei groben Versuchen nicht zu vernachlässigen sey. Es wird hieraus, wie schon aus den früher mitgetheilten Versuchen hervorgehen, dass die Frage nach der Verstärkungszahl eines Condensators, von dem man zwei in bestimmte Entfernung von einander gestellte leitende Platten als gegeben betrachtet, nicht nur bisher nicht beantwortet worden, sondern überhaupt nicht zu beantworten ist. An dem im vorigen Paragraphen gebrauchten kleinen Condensator war der Ableitungsdraht der Condensatorplatte normal auf die Platte gestellt; derselbe wurde nun an der Seite des Plattenfortsatzes angebracht, so dass derselbe, ungefähr 5" von der Platte entfernt, mit der Ebene derselben parallel lief.

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen. Beobachtet.	Torsionen. Berechnet.	Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
2 Linien	3		28°,2			
	4	4',8	126,5	145°	0,194	
		2,9	116,5			
		4	32			
		3	150	171,7	0,187	0,190
		2,2	140			
3 Linien	3		54,5			
	4	5,9	168,5	200,1	0,272	
		2,1	158,5			
	4		53			

Entfernung der Scheiben.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		Verhältnis der Dichtigkeit.	Mittleres Ver- hältnis.
			Beobachtet.	Berechnet.		
	3	4'	182°	199°,2	0,266	0,269
		2,5	172			
4 Linien	4		28,5			
	3	3,5	75	85,5	0,333	
		3,8	65			
	3		51			
	4	3,5	134	146,7	0,347	0,340
		3	124			
5	3		51			
	4	3,2	114	124,6	0,409	
		3,3	104			
	4		91			
	3	3,8	203,2	223,6	0,407	0,408
		2	193,2			
10	3		94,8			
	4	3,6	143,5	157,5	0,600	
		2,8	133,5			
	4		72,5			
	3	3,1	110,2	122	0,594	0,597
		2,9	100,2			
Entfernung der Scheiben . . .	∞	10"	5"	4"	3"	2"
Dichtigkeiten (parallele Ableit.)	1	0,597	0,408	0,340	0,269	0,190
(normale Ableit.)	1	0,688	0,443	0,393	0,330	0,232

Bei dem parallel mit der Condensatorplatte laufenden Ableitungsdrähte findet sich für jede Entfernung eine geringere Dichtigkeit an der Collektorplatte als bei dem normal angebrachten, so dass also bei der ersten Anordnung der Condensator einer stärkeren Ansammlung der Elektricität fähig ist, als bei der letzten. Bei der hier gebrauchten kleinsten Entfernung von 2" verhalten sich die beiden Ansammlungen wie 5,2 zu 4,3, ein Unterschied, der schon hier bedeutend, bei den viel kleineren Entfernungen der gewöhnlichen Condensatorplatten (die oft kaum $\frac{1}{10}$ " von einander stehen) noch gröser seyn muß.

B. Messung von Mengen der erregten Influenzelektricität.

§. 15.

Von der Menge der Influenzelektricität erster Art und dem gewöhnlich mit m bezeichneten Verhältnisse derselben zur erregenden Elektricität ist in der Elektricitätslehre häu-

fig die Rede, ohne daß man bisher ernstlich daran gegangen wäre, dieselbe für bestimmte Fälle zu messen. Es ist mir nur eine einzige und zwar beiläufig gegebene Messung der Art bekannt, die hier erwähnt werden kann. Coulomb¹⁾ näherte einer positiv elektrisierten achtzölligen Kugel zwei sich berührende zweizöllige Kugeln bis zur Entfernung der Kugelflächen von 2 Zoll und zwar so, daß die Centra der Kugeln in einer geraden Linie lagen. Er brachte die kleinen Kugeln successiv in die Torsionswaage und fand, daß jede derselben eine gleiche Elektricitätsmenge besaß, die vordere von negativer, die hintere von positiver Elektricität. Es konnte daher eine Messung der Influenzelektricität zweiter Art (die der hinteren Kugel) auch für die Influenzelektricität erster Art dienen. Nachdem diese Messung der Elektricität der hinteren Kugel ausgeführt war, wurde die Kugel entladen, mit der großen Kugel in Berührung gesetzt und aufs Neue in die Waage gebracht. Da nun aus früheren Versuchen die Elektricitätsmenge bekannt war, welche die kleine Kugel durch Berührung von der großen empfing, so konnte das Verhältniß der in der vorderen Kugel erregten Influenzelektricität zu der Elektricität der großen Kugel berechnet werden. Dieses Verhältniß wurde 0,36 gefunden, welches also die Menge der Influenzelektricität erster Art angibt, die eine achtzöllige Kugel auf zwei sich berührende zweizöllige Kugeln in der Entfernung von zwei Zoll erregt. Bei anderen Entfernungen oder mit andern Körpern hat Coulomb keine Messung der Influenzelektricität angestellt, die auch in der beschriebenen Art nicht hätte ausgeführt werden können. Coulomb legte, und wie es mir scheint mit Recht, wenig Gewicht auf die Bestimmung der Menge der Influenzelektricität und wandte sich zu der für die elektrischen Apparate viel wichtigeren Bestimmung der Dichtigkeit einzelner Stellen der influencirten Körper. Als Biot zur Kenntnis der Verstärkungszahl eines Condensators die Menge der Influenzelektricität verlangte, gab er ein scheinbar sehr

1) *Mém. de l'Acad. de Paris* 1788, p. 678.

leichtes Verfahren an, diese zu bestimmen¹⁾). Die ganz gleichen Scheiben des Condensators sollten mit ihrem isolirenden Ueberzug auf einander gelegt werden, man sollte die Collektorscheibe elektrisiren, die Condensatorscheibe ableitend berühren, dann beide Scheiben von einander trennen und an jeder einen gleichgelegenen Punkt mit dem Prüfungscheibchen successiv berühren. Die Torsionen, welche die Elektricitätsmenge des Prüfungsscheibchens in der Waage messen, sollen das Verhältnis der ursprünglichen Elektricität zur influencirten ergeben. Es ist hierbei die Influenzelektricität des an die Condensatorplatte angelegten ableitenden Körpers vernachlässigt, die von der gemessenen Menge fortgenommen worden ist, und diese vernachlässigte Menge kann nach dem Versuche sehr bedeutend seyn und ist außerdem veränderlich mit der Stellung des berührenden Körpers und der Entfernung der Condensatorplatten. — Von einer Ausführung dieser Methode ist Nichts bekannt geworden, welches wohl daher röhrt, dass sie die practische Schwierigkeit mit sich führt, zwei Elektricitätsmengen verschiedener Art schnell nach einander in der Waage zu messen.

§. 16.

Obgleich mir die Bestimmung der Menge influencirter Elektricität in bestimmten Fällen für jetzt weder practisch nützlich noch theoretisch interessant genug erschien, um derselben eine längere Zeit zu widmen, so habe ich doch auf eine allgemein anwendbare Methode gedacht, dieselbe, wo es verlangt wird, mit annähernder Genauigkeit zu leisten. Ich will diese Methode, der Deutlichkeit wegen, so gleich auf einen bestimmten Fall angewendet beschreiben. Es kam darauf an, an dem grossen Condensator (§. 1) die Influenzelektricitätsmenge der Condensatorscheibe bei verschiedenen Entfernungen der Scheiben zu messen. Der Fortsatz der Collektorscheibe war durch einen $3\frac{1}{2}$ " langen in eine Kugel sich endigenden Draht verlängert, in dem Fortsatz der Condensatorplatte ein 131 " langer Draht mit

End-

1) *Traité T. II.*, p. 366.

Endkugel befestigt (§. 10). Die Collektorplatte wurde positiv elektrisiert, die Condensatorplatte derselben genähert und an das Ende des Zuleitungsdrähtes der letzteren eine Prüfungskugel angelegt und ableitend berührt. Als die Entfernung der Scheiben von 3" bis 50" verändert wurde, gab die Prüfungskugel an einem sehr empfindlichen Säulenelektroskop keine Elektricität zu erkennen, wonach ich versichert war, daß innerhalb dieser Entfernungen die Influenzelektricität erster Art ganz auf der Condensatorscheibe und ihrem Zuleitungsdrähte vorhanden war. Diese Menge wird folgendermaßen gemessen. Die Collektorscheibe habe einzelnstehend die Elektricitätsmenge e erhalten und werde an einem beliebigen Punkte mit einer Prüfungskugel berührt, die, in die Torsionswaage gebracht, die Torsion b ergiebt. Bezeichnet a eine Constante, so ist (die Constante der Torsionswaage 1 gesetzt) $ae = b$. Man bringe die Condensatorscheibe, nachdem sie an ihrem Zuleitungsdrähte ableitend berührt worden und die daher die Elektricitätsmenge $-e' = -me$ besitzt, isolirt mit der Collektorscheibe in leitende Verbindung und berühre mit der Prüfungskugel einen beliebigen Punkt der zusammengesetzten Scheibe. In der Torsionswaage werde b' gefunden, so hat man $a'(e-e') = b'$ und hieraus das gesuchte Verhältnis $\frac{e'}{e} = 1 - \frac{a}{a'} \frac{b'}{b}$, worin nur die für denselben Apparat und die gewählten Berührungsstelle konstante Größe $\frac{a}{a'}$ unbekannt ist. Um dieselbe zu ermitteln, führt man in vorläufigen Versuchen die beiden angegebenen Messungen aus, ohne aber die Condensatorplatte vor ihrer Verbindung mit der Collektorplatte ableitend zu berühren. Dadurch ist $e' = 0$ und man hat $\frac{a}{a'} = \frac{b}{b'}$.

§. 17.

Die Messungen wurden mit gepaarten Prüfungskugeln ausgeführt. Um die Constante $\frac{a}{a'}$ zu bestimmen, wurde die elektrisierte Collektorplatte an dem Knopfe ihres Fort-

satzes mit der einen Prüfungskugel berührt, alsdann die Condensatorplatte isolirt derselben bis zu einem Anschlagstücke genähert und durch einen kurzen gebogenen Draht mit ihr verbunden, endlich die andere Prüfungskugel an das Ende des Zuleitungsdrähtes der Condensatorplatte angelegt. Die zweite Kugel wurde zuerst, dann die erste in die Torsionswaage gebracht.

Messung des Verhältnisses $\frac{a}{a'}$.

Prüfungs-kugel.	Zeit-intervall.	Torsionen. Beobachtet.	Torsionen. Berechnet.	$\frac{a}{a'}$	Mittel.
4		398°,5			
3	2,5	290	305°,6	0,767	
	3,4	270			
		341			
3		248			
4	3	228	263,8	0,773	
	4,1				
3		356,5			
4	2,8	259,5	276,2	0,774	
	3,6	239,5			
4		262			
3	2,2	194,5	201,6	0,769	0,771
	6,6	174,5			

§. 18.

Menge der Influenzelektricität nach der Entfernung der Scheiben.

Nachdem die Collektorplatte elektrisiert und an der angegebenen Stelle mit einer Prüfungskugel berührt worden, brachte ich die Condensatorplatte in eine bestimmte Entfernung von derselben, gab dem Ende ihres Zuleitungsdrähtes für einen Augenblick eine gute Ableitung, rückte sodann die Collektorplatte bis zum Anschlagstücke, verband beide Platten durch den kurzen Draht und berührte mit der andern Prüfungskugel das Ende des Zuleiters der Condensatorplatte. Die zweite Kugel wurde zuerst in die Torsionswaage gebracht und gab den Werth b' , die erste den Werth b .

Entfernung der Scheib.	Prüfungs-kugel.	Zeit-intervall.	Torsionen. Beobachtet.	Torsionen. Berechnet.	$\frac{b'}{b}$	Mittel.
2 Linien	3		41°			
	4	2,9	327	252°	0,116	
		2,5	307			
	4		37,5			
	3	3,4	301	323,8	0,116	0,116
		3,2	281			

Entfernung der Scheib.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		$\frac{b}{\delta}$	Mittel.
			Beobachtet.	Berechnet.		
3 Linien	3		60°,8			
	4	3',4	396,5	418,2	0,145	
		3,3	376,5			
			54			
	4	3,2	338	362,5	0,149	0,147
		2,8	318			
	4		58,7			
	3	2,8	286	306,8	0,191	
		2,9	266			
	3		62,3			
4	4	3,7	307,3	331,1	0,188	0,190
		3,5	287,3			
	3		105			
	4	3,8	435,5	460,5	0,228	
		3,2	415,5			
	4		104			
	3	3,9	425,2	450,9	0,230	0,229
		3,2	405,2			
	10		138			
	3	2,8	324	347,1	0,397	
15		2,6	304			
	4		104,3			
	3	3,5	238	255,2	0,409	0,403
		4,4	218			
	3		216			
	4	3	408,5	433,8	0,498	
		2,5	388,5			
	4		185			
	3	3,6	337,5	363,2	0,509	0,503
		3	317,5			
20	4		152			
	3	3,2	221,7	236,4	0,643	
		4,7	201,7			
	3		131			
	4	3	186	198,9	0,653	0,648
		5,1	166			
	3		384			
	4	3,2	372	397,3	0,966	
		2,7	352			
	4		226,5			
50	3	2,3	228	239,5	0,945	0,956
		4,3	208			

Die Menge der Influenzelektricität, die von der Elektricitätsmenge 1 erregt wird, gewöhnlich mit m bezeichnet, lässt sich aus diesen Zahlen für die angewandten Entfernungen der Scheiben leicht berechnen. Man hat nach §. 16 und 17

$$m = \frac{e'}{e} = 1 - 0,771 \frac{b'}{b}.$$

Entfernung der Scheiben 2" 3" 4" 5" 10" 15" 20" 50"
 Menge d. Influenzelektr. 0,911 0,887 0,854 0,823 0,689 0,612 0,500 0,263

§. 19.

Eine andere Reihe von Messungen wurde an demselben Condensator angestellt, wobei aber der Fortsatz der Collektorplatte durch einen 101" langen Draht mit einer 7" dicken Kugel verbunden war (§. 9). Der äuferste Punkt dieser Kugel wurde zur Prüfung gewählt, sowohl bei der einfachen Collektorschabe, als nach ihrer Verbindung mit der Condensatorscheibe. Die Prüfungskugel, welche die zusammengesetzte Scheibe berührte, kam zuerst in die Torsionswaage.

Bestimmung von $\frac{a}{a'}$.

Prüfungs-kugel.	Zeit-intervall.	Torsionen. Beobachtet. Berechnet.	$\frac{a}{a'}$	Mittel.
4		183°,5		
3	3,3	220	236°	1,29
	4,5	200		
3		146,5		
4	3,4	174	188	1,28
	2,6	164		
3		163		
4	3,1	198,5	211,1	1,29
	2,6	188,5		
4		104,4		
3	2,5	127	136	1,30
	3	117		1,29

Bestimmung von $\frac{b'}{b}$.

Entfernung der Scheib.	Prüfungs-kugel.	Zeit-intervall.	Torsionen. Beobachtet. Berechnet.	$\frac{b'}{b}$	Mittel.
3 Linien	3		34°,7		
	4	4',6	262	282°,8	0,123
		4,8	242		
	4		29,3		
	3	3,3	221,3	232,2	0,126
		4,4	201,3		0,124
5	3		55		
	4	3,6	286,5	304,4	0,181
		4,3	266,5		
	4		49		
	3	3,2	254,8	268,2	0,183
		5,1	234,8		0,182

Entfernung der Scheib.	Prüfungs- kugel.	Zeit- intervall.	Torsionen.		$\frac{b'}{b}$	Mittel.
			Beobachtet.	Berechnet.		
10 Linien	4		72°,2			
	3	3',2	241,2	254,9	0,283	
		5	221,2			
	3		125,7			
	4	3,7	425	449,4	0,280	0,281
15	3	3,2	405			
	4		106,8			
	3	3,6	279,8	296,5	0,360	
		4,6	259,8			
	3		73,5			
20	4	3,3	191,2	202,8	0,362	0,361
		6,2	171,2			
	3		120			
	4	3,6	268,5	284,2	0,422	
		4,9	248,5			
50	4		91,2			
	3	2,9	204,2	214,9	0,424	0,423
		5,8	184,2			
	4		109			
	3	3,2	175,8	187,7	0,582	
		5,9	155,8			
	4		138,8			
	3	3,4	225,7	238,8	0,581	0,581
		5,6	205,7			

Die Menge der Influenzelektricität oder m erhält man durch den Ausdruck:

$$m = \frac{e'}{e} = 1 - 1,29 \frac{b'}{b}.$$

Entfernung der Scheiben 3" 5" 10" 15" 20" 50"
Menge der Influenzelektricität . 0,840 0,765 0,638 0,534 0,454 0,251

Durch Hinzusetzung des langen Drahts an die Collektorscheibe ist nicht nur die Menge der Influenzelektricität bei gleicher Entfernung der Scheiben vermindert, sondern diese Menge nimmt auch mit steigender Entfernung schneller ab.

Mit diesen Beispielen scheint mir die Anwendbarkeit der Methode hinlänglich aufgezeigt, deren größte Schwierigkeit daraus entsteht, dass in einzelnen Fällen sehr verschiedene elektrische Dichtigkeiten kurz nach einander in der Torsionswaage bestimmt werden müssen, eine Schwierigkeit, die sich indes immer beseitigen lässt, wenn man an der einfachen Scheibe einen Punkt von geringer Dichtigkeit, an der zusammengesetzten einen Punkt von großer Dichtigkeit der Prüfung unterwirft.

III. *Ueber das galvanische Verhalten des Eisens zur Salpetersäure;*
von Wilhelm Rollmann in Halle.

Es gibt wohl kaum eine zweite Erscheinung in der Physik, über deren Ursache die Meinungen so verschieden und ungewiss wären, als sie es über die unter gewissen Umständen stattfindende Passivität des Eisens in Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht sind. Die darüber aufgestellten Hypothesen und Erklärungen sind der Hauptsache nach folgende:

Faraday¹⁾ nahm an, das Eisen überziehe sich in der concentrirten Salpetersäure mit einer unlöslichen Oxydschicht, welche es gegen Säure von 1,35 Dichte passiv mache; doch hat er selbst diese Hypothese wieder verworfen, ohne, so viel ich weiß, eine andere an deren Stelle gesetzt zu haben.

Mousson und de la Rive²⁾ nehmen an, daß das Eisen durch eine Schicht salpetriger Säure geschützt werde, die vom + Pol angezogen, vom — Pol abgestossen werde; deshalb sey ersterer passiv, letzterer activ. Dies kann jedoch, wie schon Schönbein³⁾ bemerkt, deshalb nicht richtig seyn, weil die salpetrige Säure kein Ion ist. Die salpetrige Säure bildet sich allerdings durch secundäre Zersetzung der Salpetersäure, jedoch nur am — Pol, wie man bei Anwendung von wasserheller Säure deutlich sieht.

Fischer⁴⁾ hält die Aktivität und Passivität des Eisens in Salpetersäure für polare Thätigkeiten; der galvanische Strom wirkt nach ihm am + Pol abstosend, am — Pol anziehend auf die chemische Thätigkeit. Diese Hypothese genügt jedoch schon nicht mehr zur Erklärung der Fort-

1) Phil. Magaz. 1836, Juli, S. 53.

2) Poggend. Ann. Bd. 39, S. 330.

3) Poggend. Ann. Bd. 39, S. 342.

4) Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Basel, 2tes Heft.

dauer der Passivität nach Oeffnung der Kette. — Martens¹⁾ glaubt die Passivität des Eisens sey das Resultat der Modificationen, welche gewisse Flüssigkeiten dem natürlichen elektrischen Zustande oder der elektromotorischen Kraft desselben imprimirten. Er nimmt also an, dafs passives Eisen von gewöhnlichem specifisch verschieden sey.

Berzelius spricht einmal in diesen Annalen, ich weiss augenblicklich nicht wo, davon, dafs die Passivität des Eisens möglicherweise in einer Allotropie desselben beruhe. Schönbein²⁾ hält das Passivwerden des Eisens als positive Elektrode für das Resultat der Spannung, die nach ihm die Elektroden, zufolge des Leitungswiderstandes in der Zersetzungszelle annehme. Schönbein bemerkt jedoch selbst, dafs diese Annahme nicht alle hierhergehörigen Erscheinungen erklären könne.

Millon³⁾, Ohm und Leykauf⁴⁾ nehmen eine chemische Oberflächenveränderung des Eisens in der concentrirten Salpetersäure an; und zwar Ersterer die Bildung von Eisenoxydul, Letztere die eines unlöslichen Nitrates.

Ich habe das Wesentliche, was die Faraday'sche Hypothese mit den beiden zuletzt genannten Annahmen gemein hat, nämlich die Bildung einer unlöslichen Schicht, bestätigt gefunden. Meine desfallsigen Versuche und Erfahrungen sind kurz folgende.

Zunächst untersuchte ich das Verhalten der Platin-eisenkette in concentrirter Salpetersäure. Die concentrirte rauchende Säure hatte ein specifisches Gewicht von 1,5. Das Eisen und Platin wurden in Form dünner Drähte angewandt. Tauchte man die mit dem Galvanometer verbundene Platineisenkette etwa $\frac{1}{4}$ " tief in die Säure, so bewirkte der entstehende Strom einen Ausschlag der Nadel von 30 bis 35° und Einstellung desselben auf 1 bis 2°. Dafs die rasche Abnahme des Stromes nicht allein Folge der Pola-

1) *Nouv. Mem. de l'acad. roy. de Brux.*, T. 10. — Pogg. Ann. Bd. 55.

2) Poggend. Ann. Bd. 57, S. 63.

3) *Compt. rend.*, T. 14, p. 940. — Poggend. Ann. Bd. 57, S. 281.

4) Poggend. Ann. Bd. 63, S. 389.

risation sey, ging daraus hervor, dass wenn die Kette geöffnet und erst nach 5 Minuten wieder geschlossen wurde, die Nadel nur noch um 5° auswich. Bei einer frischen Kette, die erst *nach* dem Eintauchen mit dem Galvanometer verbunden wurde, wich die Nadel nur um 8° aus. Nachdem diese Kette einmal geschlossen gewesen war, brachte sie, nach Verschwinden der Polarisation, nur noch eine Ausweichung der Nadel von 5° hervor, und stellte sie, wie in allen eben angeführten Fällen, auf 1 bis 2° ein. Ich schloß nun die Kette mittelst eines zweiten kurzen Drahtes, wodurch die Nadel auf 0° zurückging. Bei Aufhebung dieser Nebenschließung, nach beiläufig 5 Minuten, betrug die Ausweichung der Galvanometernadel 3° , ihre Einstellung $1^{\circ},5$.

Aus allem diesen leuchtet klar hervor, dass wir es hier nicht mit Ladungsphänomenen zu thun haben, oder dass genauer gesagt, die galvanische Ladung so gering ist, dass wir ihr die rasche Abnahme des Stroms nicht zuschreiben können. Bei dem einen Versuche, welcher zeigte, dass die erst nach dem Eintauchen geschlossene Kette eine weit geringere Wirkung äusser, als die schon *vorher* mit dem Galvanometer verbundene, kann überhaupt von Polarisation, die wir nur als Begleiterin und Folge des galvanischen Stromes kennen, noch gar nicht die Rede seyn.

Es deutet dieser Versuch vielmehr darauf hin, dass die Salpetersäure für sich schon eine Wirkung auf die beiden Metalle oder wenigstens eines derselben ausüben müsse, die das volle Auftreten des Stromes hindere; so wie die anderen Versuche zeigen,¹⁾ dass der einmal, wenn auch nur momentan, aufgetretene Strom eine gleiche nur stärkere, *dauernd* hemmende Wirkung für den ferneren Kreislauf des Stromes hervorbringe.— Was das erstere, nämlich die Wirkung der Salpetersäure für sich, anbetrifft, so haben bereits Schröder¹⁾ und Henrici²⁾ beobachtet, dass bei ungleichzeitigem Eintauchen zweier gleichen Metalldrähte in eine

1) Poggend. Ann. Bd. 54, S. 57.

2) Poggend. Ann. Bd. 55, S. 253.

Flüssigkeit ein Strom entstehe. Bei Eisen und Platin zeigt sich in Salpetersäure der zuerst eingetauchte Draht stets negativ gegen den zweiten. Ich erhielt, wenn die Zwischenzeit des Eintauchens etwa $\frac{1}{2}$ Minute betrug, bei Eisendrähten 15 bis 20°, bei Platindrähten 2 bis 3° Ausweichung der Nadel. Schröder glaubt, dies Phänomen beruhe darauf, dass sich auf den Drähten ein Ueberzug bilde, der dann bei dem zuerst eingetauchten schon vorhanden sey, während er bei dem anderen noch fehle, also eine elektromotorische Differenz stattfinde. In Bezug auf das Platin habe ich den Gegenstand nicht weiter verfolgt, beim Eisen habe ich jedoch, wie wir sehen werden, Schröders Ansicht bestätigt gefunden.

Zunächst versuchte ich, die Natur dieser elektromotorischen Differenz dadurch zu ermitteln, dass ich das Leitungsvermögen zweier Eisendrähte, die sich längere oder kürzere Zeit in Salpetersäure befanden, prüfte. Zu dieser Prüfung gebrauchte ich eine einfache kleine constante Kette, in deren Kreis ich ein Galvanometer und das fragliche in der Säure stehende Drähtepaar einschaltete. Als der Strom durch Drähte geleitet wurde, die bereits 24 Stunden in Salpetersäure standen, erhielt ich bei Einschaltung

Ausweichung der Nadel. Einstellung der Nadel.

zweier Platindrähte	75°	36°
zweier Eisendrähte	65	13

Derselbe Strom, unmittelbar darauf durch frisch gereinigte Drähtepaare geleitet, gab bei Einschaltung

zweier Platindrähte	75°	36°
zweier Eisendrähte	80	25

Die Kette für sich erhielt die Nadel auf einer constanten Ablenkung von 56°.

Wiederholungen dieses Versuches lieferten im Wesentlichen dieselben Resultate.

Das Platin hatte also sein ursprüngliches Leitungsvermögen unverändert behalten, während das des Eisens durch die blosse Einwirkung der Salpetersäure nicht unbedeutend verringert war. Es ist also nicht einer Abnahme der elec-

tromotorischen Kraft des Eisens zuzuschreiben, dass eine Platineisenkette in Salpetersäure, die erst nach 24 Stunden durch das Galvanometer geschlossen wurde, nur noch einen Ausschlag der Nadel von 3° bewirkte, sondern der hemmenden Wirkung, welche die Salpetersäure dadurch auf den Strom ausübt, dass sie den Leitungswiderstand des Eisens vergrößerte. — Ein vergrößerter Leitungswiderstand kann aber denkbarer Weise nur in einer chemischen Oberflächenveränderung gesucht werden. Das Product dieses chemischen Prozesses, der Ueberzug des Eisens, kann negativ gegen Eisen seyn, woraus sich das erwähnte Auftreten des Stromes bei ungleichzeitigem Eintauchen zweier Eisendrähte erklären würde.

Wie oben bemerkt, zeigt sich der Strom der Platineisenkette viel rascher geschwächt, wenn dieselbe nur einmal geschlossen war, wenn also das Eisen positive Elektrode war. Um dies näher zu prüfen, tauchte ich 2 Eisen- und 2 Platindrähte isolirt in Salpetersäure, leitete nur ganz kurze Zeit einen schwachen galvanischen Strom durch die beiden Eisendrähte, und wartete dann das Verschwinden der Polarisation ab. Der Eisendraht, welcher als Kathode gedient hatte, gab mit einem der beiden Platindrähte verbunden, einen Ausschlag der Nadel von 5° , und die Anode mit dem anderen Platindrahte verbunden, einen solchen von 10° . — Zur weitern Untersuchung dieser Verschiedenheit, welche die Eisendrähte zeigten, jenachdem sie als Kathode oder Anode gedient, wurden 6 Eisendrähte in Salpetersäure getaucht und zwei zur Kathode, zwei zur Anode der oben erwähnten kleinen einfachen Kette¹⁾ gemacht, zwei Drähte blieben isolirt in der Säure. Nach etwa $3\frac{1}{2}$ Stunden öffnete ich die Kette und schaltete das Galvanometer, so wie successive auch die drei Drähtepaare in den Kreis derselben ein. Ich erhielt bei Einschaltung

der beiden + Elektroden	30° Ausweich.	10° Einstellung.
— Elektroden	57	21
isolirten Drähte	46	14
zweier frisch gereinigter Drähte .	52	16

1) Die Kette erhielt für sich die Galvanometernadel constant auf 47° .

Die + Elektroden boten also den grössten Leitungs-widerstand, den geringsten die — Elektroden, und die frisch gereinigten Drähte leiteten, übereinstimmend mit früheren Angaben, besser als die, welche $3\frac{1}{2}$ Stunden in der Säure gestanden hatten. Das Galvanometer war jedoch hier nicht mehr einziger Zeuge einer vorgegangenen Veränderung. Die + Elektroden waren nämlich mit einer braunen Schicht überzogen, die, nachdem sie von der adhärenenden Säure durch Abwaschen in Wasser und Abtrocknen befreit war, sich glänzend zeigte, und, wenn auch nur matt, die Farben des Anlaufs durch Hitze hatte. Auch die Drähte, welche isolirt mit den — Elektroden gleich lange Zeit in der Säure gestanden hatten, waren nicht so rein metallisch glänzend als diese. So weit ich die braune Schicht chemisch untersuchen konnte, hatte sie die Eigenschaften eines Eisenoxyds. Zur Darstellung einer gröfseren Quantität derselben fehlte es mir an der nöthigen starken Säule. Obige Zahlen zeigen, dass die — Elektroden besser leiteten als die frisch eingetauchten Drähte. Auf den ersten Anblick mag dies auffallend erscheinen, doch erklärt es sich leicht, wenn man bedenkt, dass sie in Folge der stattgehabten Zersetzung mit einer Schicht salpетriger Säure umgeben seyn mussten, welche selbst während der Dauer der Messungen eine chemische Veränderung ihrer Oberfläche verhinderte, die bei den frisch eingetauchten Drähten schon stattgefunden haben musste. Dass dies der Fall sey, zeigte sich, wenn man die frisch gereinigten Drähte schon vor ihrem Eintauchen in den Kreis der Kette einschaltete, der Ausschlag der Nadel war dann gröfser als er oben angegeben, wo die Verbindung erst nach dem Eintauchen der fraglichen Drähte stattgefunden.

Die Oxydschicht verhält sich gegen Eisen in Salpetersäure stark negativ, gegen Platin positiv, wenn auch oft nur sehr schwach. Wurde ein oxydirter Draht, nachdem er abgewaschen und getrocknet war, gleichzeitig mit Platin eingetaucht, so betrug die Ausweichung der Nadel etwa 15° , ließ man jedoch den oxydirten Draht in der Säure, so be-

wirkte er mit Platin verbunden nur einen Ausschlag von wenigen Graden.

Aus der Bildung dieser Oxydschicht am + Pol, so wie aus ihrem negativen Verhalten zu Eisen folgt nun ohne Weiteres die rasche Abnahme des Stroms der Platineisenkette. Dafs sich auch durch den schwachen Strom dieser Kette die Oxydschicht bilde, beruht übrigens nicht auf einer blofsen Annahme, denn nachdem eine solche Kette unter gehörigen Vorsichtsmafsregeln einige Wochen in concentrirter Salpetersäure gestanden, fand sich der Eisendraht stellenweise ganz deutlich mit der braunen Schicht bedeckt.

Der mit der Zeit wachsende Leitungswiderstand des isolirten Eisens in Salpetersäure, so wie das negative Verhalten desselben gegen frisch eingetauchtes, lassen mit Sicherheit schlieſſen, dafs auch hier sich die erwähnte Oxydschicht bilde, deren Existenz übrigens von Anderen (s. oben) schon nachgewiesen ist. — Ich fand einen Eisendraht, nachdem er längere Zeit in Salpetersäure gestanden, schwärzlich und etwas corrodirt.

Daraus, dafs die Bildung der Oxydschicht weit rascher vor sich geht, wenn das Eisen positive Elektrode ist, als wenn es isolirt in Salpetersäure steht, erklärt sich jetzt auch ohne Weiteres die Umkehrung des Stromes in der aus einem sogenannten passiven und einem gewöhnlichen Eisendrahte bestehenden Kette in Salpetersäure, welche Beetz¹⁾ beschrieben. Ich tauchte einen mit der braunen Oxydschicht überzogenen Draht zugleich mit einem gewöhnlichen in Salpetersäure; die erfolgende Ausweichung der Nadel um 5° erwies den oxydirten Draht als negativ; der nächste Ausschlag der Nadel nach der entgegengesetzten Seite betrug aber 10°, und in diesem Sinne fand auch die Einstellung der Nadel auf etwa 1° statt. Ebenso zeigt sich die Umkehrung, wenn man zwei gewöhnliche Eisendrähte nacheinander in concentrirte Salpetersäure taucht, jedoch muss sich der erste Draht wenigstens schon 10 Minuten in der Säure befunden, also bereits einen gewissen Grad von

1) Poggend. Ann. Bd. 63, S. 415.

Negativität erlangt haben, ehe man den zweiten eintaucht, wenn sich die Umkehrung des Stromes zeigen soll. Beetz fand die Umkehrung, indem er zwei Eisendrahte in Säure von 1,35 spec. Gewicht tauchte, von denen der eine schon vorher in concentrirter Säure getaucht war. — In allen angeführten Fällen haben wir eine Combination aus einem oxydierten und einem gewöhnlichen Eisendrahte. Letzterer ist beim Schließen der Kette das positive Element, d. h. er befindet sich unter den günstigsten Verhältnissen, um rasch eine stärkere Negativität zu erlangen, als dies dem ersteren durch die bloße Einwirkung der Salpetersäure möglich war, besonders wenn man bedenkt, daß der Strom, welcher den einen Draht negativ macht (oxydirt), den anderen positiver machen (desoxydiren) muß. Die Desoxydation braucht sich indessen nicht durch die ganze Oxydschicht zu erstrecken, schon eine Reduction ihrer Oberfläche wird hinreichen, das elektromotorische Verhalten derselben zu verändern.

Die verdünnte Salpetersäure (von 1,35 spec. Gewicht) greift unter gewöhnlichen Umständen das Eisen heftig an, läßt dasselbe aber unangegriffen, wenn es vorher in concentrirter Säure getaucht worden ist, oder wenn es + Elektrode eines galvanischen Stromes ist.

Das erste Präservativmittel besteht in nichts Anderem, als einer auch in der fraglichen verdünnten Säure unlöslichen Oxydschicht; wovon man sich leicht überzeugt, wenn man mit Drähten experimentirt, die mit Hülfe des galvanischen Stromes sichtbar oxydirt sind.

Das zweite Mittel führt nur unter der Bedingung zum Ziele, daß zugleich mit dem Eintauchen des fraglichen Drahtes die Kette geschlossen wird. Es liegt also nichts näher als die Vermuthung, daß der galvanische Strom es sey, welcher in diesem Falle das Eisen vor dem Angriffe der Säure schütze. — Aber wie?

Das Eisen wird in Salpetersäure auf zweifache Art aufgelöst 1) durch directe Oxydation in Folge der Zersetzung der Salpetersäure; 2) durch Substitution für den Wasserstoff des Salpetersäurehydrats. Die erste Art der Auflösung kann,

da die Salpetersäure kein Elektrolyt ist, durch den galvanischen Strom auch nicht befördert oder gar hervorgerufen werden. Die zweite dagegen beruht auf der Zersetzung eines Elektrolyten, des Wassers nämlich. Unter gewöhnlichen Verhältnissen zeigt nur das Eisen das Bestreben, sich in der Säure von 1,35 spec. Gewicht durch directe Oxydation aufzulösen. Es fragt sich also, ob nicht das durch den galvanischen Strom hervorgerufene Bestreben, sich durch Substitution für den Wasserstoff aufzulösen, dem ersteren Bestreben hindernd entgegentrete.

Der sogenannte passive Zustand des Eisens in Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht würde demnach darzustellen seyn als das Resultat eines Conflictes zweier Kräfte, welche gleichzeitig auf das Metall wirken¹⁾). Die galvanische Kraft gewinnt nur dann das Uebergewicht über die rein chemische Verwandtschaft, wenn zugleich mit dem Eintauchen des zu passivirenden Eisens ein Strom auftreten kann, für den dasselbe + Elektrode ist. Es fragt sich nun, ob der galvanische Strom sich damit begnügen, die directe Oxydation zu verhindern, und das Eisen in Folge dessen absolut unangegriffen bleibe, oder ob bei der durch den Strom bewirkten Wasserzersetzung auch eine dieser entsprechende Oxydation des Eisens stattfinde.

Schönbein²⁾ fand, dass das Eisen als + Elektrode eines Becherapparates aus 15 Elementen in Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht angegriffen werde. Er vermuthet jedoch, dass das Eisennitrat sich außerhalb der Säure durch deren Dämpfe bilde und auf capillarem Wege in dieselbe gelange.

Um über diese Vermuthung Gewissheit zu erlangen, befestigte ich an der aus Platin bestehenden positiven Elektrode der schon erwähnten kleinen einfachen Kette ein Stückchen Eisendraht, und tauchte dasselbe ganz in die Säure. Nach etwa $\frac{1}{2}$ Stunde war die wasserhelle Säure

1) Vergleiche Graham-Otto's Lehrbuch der Chemie, Bd. 2, zweite Abtheilung: Eisen.

2) Das Verhalten des Eisens zum Sauerstoff. Basel 1837.

von beiläufig 1,39 spec. Gewicht um die — Elektrode herum durch salpetrige Säure gelb gefärbt und zeigte beim Uebersättigen mit Ammoniak einen deutlichen Niederschlag von Eisenoxyd. Nach 20 Stunden war das Eisenstäbchen ziemlich stark corrodirt und hatte ein mattes schwärzliches Ansehen. Das Eisen ist also in der fraglichen Säure als positive Elektrode nur passiv zu nennen, wenn man unter Aktivität seine directe Oxydation durch Zersetzung der Säure versteht; passiv im *ursprünglichen* Sinne des Wortes ist es jedoch hier so wenig, als in der concentrirten Säure. In beiden Säuren wird vielmehr das Eisen, auch wenn es als + Elektrode fungirt, oxydirt; jedoch zeigen sich hierbei einige Verschiedenheiten.

Während nämlich bei der concentrirten Säure die Oxydation mittelst des galvanischen Stromes nur eine Fortsetzung der schon durch die Säure für sich bewirkten zu seyn scheint, muss bei der Säure von 1,35 spec. Gewicht der Strom erst die dieser Säure eigenthümliche directe Oxydation überwinden, damit die andere stattfinden könne. In der concentrirten Säure scheint das gebildete Oxyd nur in sehr unbedeutendem Grade löslich zu seyn, während es in Säure von 1,35 spec. Gewicht nur in unmittelbarer Berührung mit dem Eisen ungelöst bleibt, wodurch jedoch das Wiedereintreten der directen Oxydation auch nach Oeffnung der Kette verhindert wird. In noch verdünnterer Säure bildet sich keine unlösliche Oxydschicht mehr, die Passivität hört in solcher Säure daher mit Oeffnung der Kette auf. — Zwischen der Säure von 1,35 und der concentrirtesten giebt es natürlich solche Verdünnungsgrade, bei denen keine Eigenthümlichkeit jener beiden Säuren eigentlich vorherrschend ist, wo es also nur eines geeigneten Impulses von der einen oder der anderen Seite her bedarf, um neben der einen auch die andere Thätigkeit zu wecken, so dass dann beide mit einander kämpfen, d. h. in raschem Wechsel nach einander auftreten, bis wieder die eine von ihnen das Uebergewicht erlangt. Dies sind nach meiner Ansicht die mehrfach beschriebenen und besprochenen Pul-

sationen, welche sich leicht in Säure von etwa 1,40 spec. Gew. hervorrufen lassen.

Einige Schwierigkeit hat die Erklärung, wie es möglich sey, mittelst eines passiven (oxydirten) Drahtes einen gewöhnlichen Draht in Säure von 1,35 ebenfalls passiv zu machen, ohne daß ersterer activ wird. Weitere Versuche werden hierüber noch nähere Auskunft geben müssen, doch könnte man vermuten, daß nicht aller frei werdende Wasserstoff zur Reduction des Oxyds, sondern ein Theil desselben auch zur Bildung von salpetriger Säure verwendet werde, so daß von der Oxydschicht noch genug übrig bliebe, um das Eisen vor dem Angriff der Säure zu schützen.

Ganz ebenso wie mit der Passivität eines durch den galvanischen Strom in Salpetersäure oxydirten Eisendrahtes verhält es sich auch mit der eines durch Hitze angelaufenen Drahtes. Der Anlauf besteht bekanntlich in einer Oxydschicht, welche in Salpetersäure unlöslich, und gegen Eisen negativ ist. Mit zunehmender Dicke der Oxydschicht nimmt auch der Leitungswiderstand der betreffenden Drähte in Salpetersäure fortwährend zu, und zwar so regelmäsig, daß ich mit Hülfe der kleinen constanten Kette die relative Dicke der verschiedenen Oxydschichten messen konnte, wie aus Nachstehendem hervorgeht. Ich erhielt nämlich bei Einschaltung

	Ausschlag.	Einstellung.
zweier Platindrähte	72°	30°
- frisch gereinigter Eisendrähte . . .	66	19
- gelb angelaufener	50	18
- blau	36	16,5
- blaugrün	20,5	13,5
- dunkelroth geglühter	71	3
- hellroth	6	1,5

Bei möglichst genauem Verfahren würde also die Bestimmung der relativen Längen verschiedener Lichtwellen durch den galvanischen Strom nicht undenkbar seyn.

Schliefslich muß ich noch bemerken, daß ich Martens¹⁾ Angabe, nach welcher das Eisen auch durch Ein-

1) *Nouv. Mem. de l'acad. roy. de Brux.*, T. X. — Pogg. Ann. Bd. 55.

tauchen in concentrirte Essigsäure und wasserfreien Alkohol passiv werden soll, nicht bestätigen kann. In den ersten Momenten, in denen wegen der adhärirenden Essigsäure u. s. w. die Salpetersäure mit dem Eisen noch nicht in Berührung kam, kann natürlich keine chemische Action stattfinden, die jedoch nach Ueberwindung der genannten Hindernisse alsbald eintritt. Taucht man den fraglichen Eisendraht tiefer in die Salpetersäure als dies in den Alkohol oder die Essigsäure stattgefunden, so findet am oberen Theile des Drahtes schon Action statt, während der untere noch durch die adhärirende Flüssigkeitsschicht geschützt ist. Diese Erscheinung zeigt sich natürlich ebenso bei allen anderen durch die Salpetersäure oxydirbaren Metallen.

Auf das Verhalten des sogenannten passiven Eisens gegen Kupfervitriollösung, verdünnte Schwefelsäure u. s. w., so wie auch die Passivität anderer Metalle, kann ich jetzt nicht näher eingehen; ich werde es später thun, falls der Gegenstand dann seine Erledigung noch nicht gefunden haben sollte.

IV. Ueber die Passivität des Eisens und einige elektromotorische Veränderungen dieses Metalles; vom Dr. Gustav Wetzlar in Hanau.

In dem zweiten Hefte des Jahrganges 1846 der Poggendorff'schen Annalen der Physik und Chemie findet sich, S. 186, ein Aufsatz von Beetz über die Passivität des Eisens, dessen Lesung Veranlassung wurde, dass ich diesem Gegenstande von Neuem eine Reihe von Versuchen widmete. Es sind nunmehr 20 Jahre verflossen, seitdem ich

zuerst das chemische Publicum mit der merkwürdigen Indifferenz, welche das *so oxydable Eisen* in einigen, ihr Oxygen leicht abgebenden Flüssigkeiten zeigt, bekannt machte ¹⁾), einem Verhalten, das man jetzt, nebst den von Anderen später aufgefundenen Erscheinungen, unter dem Namen der Passivität dieses Metalles begreift. Gleich nach Veröffentlichung meiner Versuche im Jahre 1827 führte der Zufall Fechner ein Schriftchen von James Keir in die Hand, woraus hervorging, dass dieser Engländer bereits 1790 die wesentlichsten der von mir aufgefundenen interessanten Thatsachen beobachtet und publicirt hatte. Zwischen Keir's und meinem Auftreten lag, wie man sieht, ein Zwischenraum von 37 Jahren, und bei der allgemeinen Vergessenheit, in welche die, den herrschenden chemischen Schulbegriffen zu ihrer Zeit in keiner Weise sich unterordnenden und deshalb *ad acta* gelegten Versuche des englischen Naturforschers gerathen waren, durfte es nicht befremden, dass ich die Beobachtungen dieses meines Vorgängers nicht kannte. Aber auffallender musste es allerdings erscheinen, dass Schönbein, der 1837, also nur acht Jahre nach meiner letzten den in Rede stehenden Zustand des Eisens betreffenden Untersuchung, denselben zum Gegenstande seiner Forschung machte, meiner noch dazu in einer vielgelesenen deutschen chemischen Zeitschrift publicirten Versuche nirgends gedachte.

Von allen meinen Nachfolgern auf diesem Felde der Untersuchung bleibt indes Schönbein das nicht zu bestrittende Verdienst, den Kreis der hierher gehörigen Phänomene durch seine Arbeiten am meisten erweitert und dem ganzen Gegenstande hierdurch ein neues und verstärktes Interesse verliehen zu haben.

Trotz Allem jedoch, was bisher über die Passivität des Eisens, wie der Metalle überhaupt, von mir, Fechner, Braconnot, Herschel, Andrews, Schönbein, Faraday u.s.w. erforscht und geschrieben wurde, bleibt es

1) Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Physik, Bd. 49, S. 470; Bd. 50, S. 88 und 129; Bd. 56, S. 206.

ausgemacht, dass wir über den Grund der Passivitätserscheinungen noch keineswegs im Reinen sind.

Beetz hat in dem erwähnten Aufsatze die bekannte Faraday'sche Erklärung durchzuführen gesucht, dass die Ursache des unwirksamen Zustandes des Eisens in einer dasselbe bekleidenden, gegen Salpetersäure von 1,5 spec. Gewicht unangreifbaren Oxydhaut liege. Obwohl es ihm im Ganzen gelungen ist, die Anwendbarkeit dieser Hypothese (wenn auch im Wesentlichen mit keinen andern Gründen, als welche schon von L. Gmelin in der neuesten Ausgabe seines Handbuchs der Chemie für ihre Wahrscheinlichkeit angeführt worden sind) auf die meisten bekannten That-sachen von Passivität des Eisens nachzuweisen, so kann ich doch nicht bergen, dass ich mit manchem Einzelnen in dieser Durchführung nicht übereinzustimmen vermag.

Was z. B. Beetz, S. 208, zur Erklärung der Passivität des Eisens in der Lösung des salpetersauren Silberoxyds sagt, erscheint mir ganz und gar unstatthaft. Wegen der grossen Löslichkeit dieses Salzes (1 Theil in 1 Theil kalten Wassers) befindet sich die freiwerdende Säure in einem solchen Grade der Concentration, dass sie das gebildete Eisenoxyd nicht zu lösen vermöge und schon selbst Passivität hervorbringen würde. Die Erklärung, die hier Beetz giebt, könnte allenfalls gelten, wenn Eisen nach den bisherigen Versuchen nur in einer Lösung von der angegebenen Concentration passiv würde. Aber, wie er wissen sollte, geschieht dieses ja auch in Lösungen von 1 Theil Silbersalz in 8—12—16 Theilen Wassers, und was die von ihm angeführte Beobachtung Fechner's betrifft, so bezieht sich diese auf Verdünnungen von viel höherm Grade. Die Unrichtigkeit einer solchen Erklärung springt noch mehr in die Augen, wenn man das Verhalten des Eisens zu Lösungen des salpetersauren Quecksilbernitrats berücksichtigt. In diesen wird es noch passiv, selbst wenn sie, nach Schönbein, mehrere hundert Male mit Wasser verdünnt sind.

Da es hier meine Absicht nicht seyn kann, eine Kritik

des Beetz'schen Aufsatzes zu liefern, so enthalte ich mich weiterer Bemerkungen, zu welchen mir derselbe noch Veranlassung geben könnte. Ich erlaube mir nur noch anzuführen, dass die von Buchholz zuerst bemerkte, von Beetz erwähnte und vermutlich nicht selbst beobachtete Unwirksamkeit des Eisens in einer gesättigten Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds von mir nie constatirt werden konnte. Mochte diese Lösung aus käuflichem oder eigens bereitetem Kupfervitriol bestehen, und außerdem, zur Vermeidung vorschlagender Säure, mit Kupferoxyd vorgängig digerirt worden seyn: Eisen, in dieselbe gebracht, verhielt sich stets aktiv und überkupferte sich in aller Schnelle.

Man nimmt gewöhnlich, wie dies auch Beetz (S. 188 a. a. O.) thut, an, dass Eisen, in irgend einer Flüssigkeit passiv geworden, selbst nicht mit der grössten Vorsicht abgewischt werden könne, ohne dass die Passivität zerstört würde. Dies mag bei einigen Flüssigkeiten, wie z. B. concentrirter Salpetersäure, der Fall seyn, aber bei anderen findet es nicht Statt. Schon 1829 habe ich (Schweigg. Bd. 56, S. 217) gezeigt, dass Stahldrähte die durch eine neutrale Lösung des salpetersauren Silbers empfangene chemische Indifferenz gegen salpetersaure Kupferlösung selbst durch starkes Abreiben mit Fließpapier oder mit einem mit Pariser Roth belegten Leder, ja sogar durch behutsames Abschaben mit einem stählernen Schaber, nicht einbüssen. Eine später von mir beobachtete Thatsache, die noch merkwürdiger erschien, habe ich gelegentlich in Oken's Isis (1830, Heft 5, S. 661) bekannt gemacht. Ich fand nämlich, dass ein durch Silberlösung passiv gemachter Draht, mit Rostpapier abgerieben, gleich nachher und in den folgenden Stunden als der Passivität verlustig sich zeigt und daher die erwähnte Kupferlösung reducirt, nach längerem Liegen an der Luft aber, z. B. bis zum folgenden Tage, den anfänglichen Zustand von Unwirksamkeit zurück erhält und sich daher in der salpetersauren Kupferlösung von Neuem passiv erweist.

Von obigen Thatsachen war es besonders letztere, die

mir auf eine unumstößliche Weise die in meiner angeführten Abhandlung ausgesprochene Annahme zu beweisen schien, dass die fragliche Unwirksamkeit des Eisens in einem *elektrodynamischen* Zustande, wie ich ihn damals nannte, begründet seyn müsse. Denn bei der Annahme einer chemischen Veränderung der Oberfläche dieses Metalles, eines auf demselben durch die Einwirkung der Flüssigkeit haftenden feinen und unsichtbaren Ueberzuges schien sie völlig unerklärlich.

Es ist nun das Hauptergebniss meiner in letzter Zeit angestellten Versuche, zu deren Mittheilung ich jetzt übergehen will, dass die Veränderung im elektromotorischen und dem gemäss auch im chemischen Verhalten, welche das Eisen sowohl durch Flüssigkeiten, wie durch Abreibung, Erwärmung u. s. w. erleidet, allerdings nur durch das Zustandekommen und die Gegenwart von, wegen ihrer Feinheit oft unsichtbaren Ueberzügen bewirkt werden können, und dass alle jene Thatsachen, auf welche ich früher meine Ansicht von der dynamischen Natur der Passivitätserscheinungen stützte, der Statuirung solcher Ueberzüge keineswegs widersprechen. Es geht zugleich aus den nachfolgenden Versuchen hervor, dass ich im Irrthume war, wenn ich dem Stahle eine grössere Coërcitivkraft für den passiven Zustand zuschrieb, als dem Eisen, da letzteres, wie man sehen wird, ihn nicht minder nach dem Abtrocknen und Abreiben hartnäckig zu behaupten vermag. Ich würde diese irrthümliche Annahme vermieden haben, wenn ich bedacht hätte, dass die Stahldrähte, deren ich mich bei meinen früheren Versuchen bediente, zum Theil gewöhnliche dicke Stricknadeln waren, die mehrentheils nur aus polirtem Eisendraht bestehen.

Um das elektrische Verhalten eines Metalles gegen ein anderes, und die elektromotorischen Veränderungen, welche ein solches durch Flüssigkeiten oder andere Einflüsse erleidet, zu erforschen, wendet man insgemein in der neueren Zeit das Galvanometer an, und insbesondere war dieses der Fall bei den bisherigen Untersuchungen über die Passivität.

Ich habe es vorgezogen, statt dessen mich bei meinen jetzigen Versuchen des *Bohnenbergischen condensirenden Elektroskops* zu bedienen. Dieses Instrument steht zwar an Empfindlichkeit einem Galvanometer mit astatischer Doppelnadel und vielen Windungen ungleich nach, allein es gewährt den Vorzug, dass bei ihm nicht, wie bei Versuchen mit strömender Electricität, das elektromotorische Vermögen der Flüssigkeit, die chemische Action, die secundären Wirkungen des Stromes, als complicirende Umstände, bei den erhaltenen Anzeigen in Betracht kommen. Ein gutes Säulenelektroskop ist zu dem viel empfindlicher als Viele sich vorstellen. Man kann eine höchst schwache elektrische Differenz zweier aus dem nämlichen Metalle bestehenden Platten an demselben prüfen, wenn diese einen mehrzölligen Durchmesser besitzen und die Zahl der Uebertragungen an den Condensator nöthigenfalls auf 60 und mehr gesteigert wird. Um eine solche Menge Uebertragungen mit Leichtigkeit und in kürzester Zeit auszuführen, bringt man die beiden aufeinander gesetzten Platten, deren Contactelektricität man prüfen will, waagerecht nur einige Linien entfernt unter den Knopf des Instrumentes, dessen Condensatordeckel durch einen dicken Messingdraht mit dem Erdboden in leitender Verbindung steht, wobei die untere der zu prüfenden direct auf der linken Hand ruht, während man die obere mit der rechten an ihrer isolirenden Handhabe fast und in schneller Aufeinanderfolge stets an den Knopf des Condensators entlädt und wieder aufsetzt. Auf diese Weise kann man in einer bis anderthalb Minuten bis zu 100 Uebertragungen machen. Hat man auch eine so grosse Zahl in den meisten Fällen nicht nöthig, so ist doch gewiss, dass man sich sehr irrt, wenn man sich, wie es mehrentheils geschieht, auf eine verhältnissmässig kleine Zahl beschränkt, und überall, wo diese dem Condensator keine Ladung mittheilt, zu dem Schlusse sich berechtigt glaubt, dass die in Contact gesetzten Metalle keine durch das Instrument nachweisbare elektrische Differenz zeigen. Nur durch die gesteigerte Menge der Uebertragungen erlangt man in letzterem Falle die nö-

thige Anhäufung der darzuthuenden schwachen Contactelektricität in dem Condensator, wobei die Schnelligkeit, mit der die Uebertragungen ausgeführt werden, neben dem Vortheile der Zeitersparnis zugleich bewirkt, daß von der schwachen Ladung, welche die zu prüfende isolirte Metallscheibe durch jeden Contact wie der Condensator durch jede Uebertragung empfängt, so wenig als möglich durch die absorbirende Wirkung der Luft etc. in den Zwischenräumen verloren geht. In Bezug auf täuschende und unzuverlässige Aussagen, die Manche, wie unter Anderen Parrot, dem condensirenden Goldblattelektrometer vorwerfen, bin ich mit Fechner¹⁾ einverstanden, daß solche nur bei Mangelhaftigkeit des Instrumentes oder des Verfahrens vorkommen können. Bei einem fehlerfreien Instrumente, gehöriger Uebung in dessen Handhabung und sorgfältiger Wahrung aller Umstände, die bei dieser Art von Versuchen in Betracht kommen, steht die Zuverlässigkeit der Aussagen hinter denen des Galvanometers in keiner Weise zurück. Dies gilt besonders, wenn man die Richtigkeit der erhaltenen Resultate durch genügende Wiederholung der Versuche controlirt und vor jeder Versuchsreihe sich von der erforderlichen Empfindlichkeit des Elektroskops, die bei feuchter Luft sehr verringert wird, eben so wohl wie von der Abwesenheit des störenden Einflusses der Elektricität der Atmosphäre und des eigenen Körpers überzeugt. Was letztere betrifft, so gewahrt man ihre Anwesenheit dadurch, daß der Condensator von selbst oder nach Berührung seines Knopfes mit dem Finger eine Ladung erhält, die zuweilen so stark ist, daß bei dem Aufheben der oberen, mit dem Boden in Verbindung stehenden Platte das Goldblatt im Nu und mit Macht an die Glaswand des Instrumentes geschleudert wird und an derselben hängen bleibt. Während dieser, zuweilen nur einige Stunden sich bemerklich machenden Dauer der eigenen oder atmosphärischen Elektricität kann man begreiflich eben so wenig experimentiren, wie bei mit Wasserdunst beladener Atmosphäre.

1) Poggend. Ann. Bd. 41, S. 225.

Zu den nachfolgenden Versuchen bediente ich mich Scheiben von Stabeisen und Stahl, die bei einer Dicke von einigen Linien $2\frac{1}{2} - 2\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmesser besaßen und mit ihnen in Berührung zu setzenden, gut abgeschliffenen Flächen vollkommen auf einander passten. Die der Berührungsoberfläche entgegengesetzte Seite besaß in der Mitte ein Gewinde zum Einschrauben eines isolirenden Handgriffes.

Erste Versuchsreihe.

Wenn man von zweien solcher blanken und metallisch glänzenden Eisen- oder Stahlscheiben, die nach einem vorläufigen Versuche am Condensator sich vollkommen homogen verhalten, die eine mit Rost- oder Smirgelpapier abreibt, so verhält sich diese bei sofortiger Prüfung *positiv* gegen die andere nicht abgeriebene. Ist durch diese Art von Ueberfeilung die ganze Berührungsoberfläche der ersten betroffen und gleichsam erneuert worden, so ist die abgeriebene Scheibe in dem Grade elektromotorisch mit der andern, dass schon 8 oder 10 Contacte und Uebertragungen an die Collektivplatte des Condensators hinreichen, diesem eine vollständige Ladung zu ertheilen, und, je nachdem man die eine oder die andere Scheibe isolirt an den Knopf des Elektroskops entlud, einen lebhaften positiven oder negativen Ausschlag des Goldblättchens zu bewirken. Wiederholt man den Versuch ohne neue Abreibung von Zeit zu Zeit, so findet man, dass immer mehr Uebertragungen nötig werden, um einen solchen Ausschlag hervorzubringen, dass mithin die abgeriebene Scheibe ihre elektromotorische Kraft allmälig wieder einbüsst. Am folgenden Tage oder schon früher verhalten sich beide, wie vor der Abreibung, vollkommen homogen.

Reibt man, ehe diese Homogenität zurückgekehrt ist, die negative Scheibe auf obige Weise ab, so verhält sich nun diese als positive, aber es bedarf einer grösseren Anzahl von Uebertragungen, um dem Condensator eine vollständige Ladung, nämlich bis zum Anschlagen des Goldblättchens, zu ertheilen. Wie oft man auch mit dem Abreiben der

Scheiben wechseln mag, stets verhält sich die zuletzt abgeriebene Platte positiv gegen die andere, und beträgt das Zeitintervall zwischen dem Abreiben der Scheiben nur wenige Minuten, so bilden dieselben noch immer einen, freilich höchst schwachen Elektromotor. Nur wenn die eine unmittelbar und ohne Verzug nach der anderen mit gleicher Stärke abgerieben wird, lässt sich durch die größte Anzahl von Uebertragungen keine Contactelektricität zwischen ihnen nachweisen.

Aus diesen Versuchen lässt sich wohl kein anderer Schluss ziehen, als dass das anscheinend blankste Eisen von einem nicht bemerkbaren Ueberzuge einer Substanz bedeckt ist, die es gegen Eisen mit *vollkommen frischer* Oberfläche elektronegativ sich verhalten lässt. Die Bildung dieses Ueberzuges beginnt sogleich auf der frischen, rein metallischen Oberfläche und erreicht nach einer gewissen, nicht sehr langen Zeit ihre Gränze. Schon Faraday nimmt in seinen polemischen Versuchen gegen die Volta'sche Contacttheorie zur Erklärung des Stromes einer Kette aus Platin und Eisen in concentrirter Schwefelkaliumlösung an, dass sich das auf das sorgfältigste rein gescheuerte Eisen sofort an der Luft, auch bei gewöhnlicher Temperatur, mit einer unsichtbaren Oxydschicht überziehe. Da indes jenes Oxydhäutchen, womit sich Eisen beim Erhitzen bekleidet, die Stelle dieses Metalles in der elektrischen Reihenfolge, wie wir sehen werden, wesentlich verändert, so bin ich nicht geneigt, den Ueberzug, von dem hier die Rede ist, für Eisenoxyd zu halten, sondern für jene Substanz, die sich nach Fizeau auf der Oberfläche polirter und metallischer Körper aus der Atmosphäre in einer sehr dünnen, sinnlich nicht wahrnehmbaren Schicht absetzt, und welche nach ihm an der Entstehung der bekannten Moser'schen Lichtbilder den Hauptantheil trägt.

Zweite Versuchsreihe.

Befeuchtet man die Berührungsoberfläche einer blanken *Stahlscheibe* mit destillirtem Wasser und führt dieses 1—2

Minuten mit reinem Fließpapier reibend auf derselben herum, so verhält sich diese Scheibe nach dem Abtrocknen *negativ* gegen eine zweite, mit ihr homogen gewesene. Merkwürdig ist es, daß diese elektromotorische Veränderung nicht gleich nach der erwähnten Behandlung mit Wasser ihre größte Stärke zeigt, sondern ihr Maximum erst in einiger Zeit erreicht. Wenn daher z. B. im ersten Augenblick 20 Uebertragungen nötig befunden werden, um die Negativität der sorgfältig abgetrockneten Scheibe am Condensator nachzuweisen, so genügt nach einer halben oder ganzen Stunde eine weit geringere Zahl, z. B. fünf. Am folgenden Tage ist wieder hierzu eine etwas größere Zahl von Uebertragungen erforderlich, ein Beweis, daß die Veränderung der Stahlfläche im weiteren Verlaufe der Zeit eine Abnahme erfährt. Ein erneuertes Reiben mit Wasser erhöht die etwas geschwundene Negativität, aber ein drittes und viertes, in kurzen Zwischenräumen wiederholtes, übt auf die Stahlscheibe keinen weiteren Einfluß aus.

Eine frisch überfeilte Eisenscheibe wird durch kurzes Reiben mit Wasser ebenfalls *negativ*, aber diese Negativität tritt gleich nach dem Abtrocknen in ihrer vollen Stärke auf, und auch darin zeigt sich ein unterschiedenes Verhalten von dem Stahl, daß jede zweite und fernere Einwirkung des Wassers die Eisenfläche in der Weise modifiziert, daß sie gegen unverändertes Eisen *positiv* erscheint.

Eine Eisenscheibe, die einige Minuten oder selbst eine ganze Stunde unter destillirtes Wasser gelegt wird, zeigt nach dem Herausnehmen und Abtrocknen, trotz des gebildeten, leicht abwischbaren Oxyhydrats, keine Veränderung ihres elektromotorischen Vermögens, und erscheint nur in dem Falle mehr oder weniger positiv gegen gewöhnliches Eisen, wenn bei dem Abtrocknen mit Fließpapier einige Reibung stattfindet.

Dafs das Eisen indefs durch den bloßen Contact mit Wasser, auch ohne Reibung, die vermutlich bloß die Einwirkung erhöht, eine elektromotorische Veränderung erleidet, für deren Wahrnehmung aber der Condensator zu wenig

empfindlich seyn möchte, geht aus Schröders Versuchen¹⁾ über elektrische Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen homogener Metalle hervor, die mittelst eines äußerst empfindlichen Galvanometers angestellt wurden, und im Ganzen ein dem meinigen gleichlaufendes Resultat gewährten. Ein Eisendraht erhält nach Schröder durch Benetzen oder bloßes Eintauchen in destillirtes Wasser augenblicklich eine *negative* Veränderung, die er der Bildung eines schlecht leitenden Ueberzugs zuschreibt. Dieser, dem Abtrocknen und kräftigsten Abwischen, wie er bemerkte, widerstehende Ueberzug verschwindet nach ihm mit dem alsobaldigen Eintritte der chemischen Action, und ein in letzterer begriffener Eisendraht erscheint alsdann *positiv* gegen einen später eingetauchten.

Ueber die Natur dieses Ueberzugs und in wie fern er sich aus ganz reinem Wasser ohne chemische Action bilden könnte, äußert sich Schröder nicht. Auch ich vermag darüber keine Meinung zu äußern. Jedenfalls ist er beträchtlich elektronegativer, als der in der ersten Versuchsreihe besprochene, wie das Verhalten einer mit Wasser geriebenen Stahlscheibe gegen eine andere an der Luft gelegene darthut.

Dritte Versuchsreihe.

Wird eine Eisenscheibe über der Weingeistlampe bis zum unmerklichen oder sichtbaren und stärkeren *Anlaufen* erhitzt, so nimmt sie, nach dem Erkalten geprüft, eine sehr tiefe Stelle in der elektrischen Reihenfolge ein. Sie ist gegen eine gewöhnliche Eisenscheibe, zumal von frischer Oberfläche, so *höchst negativ*, dass zuweilen schon drei Uebertragungen hinreichend waren, ihr negatives Verhalten durch lebhaftes Anschlagen des Goldblättchens nachzuweisen, ja, dass sie selbst unmittelbar das Goldblatt in Bewegung bringt, wenn die isolirt von der andern abgehobene Scheibe den Knopf des Instruments berührt. Sie verhält sich aber auch mehr oder weniger *stark negativ* gegen

1) Poggend. Bd. 54, S. 74 und 79.

Kupfer, Silber und Gold. Gegen Platin konnte ich ihr Verhalten aus Mangel einer Platinscheibe nicht ermitteln, halte es indes für wahrscheinlich, dass sie auch mit Platin sich negativ zeigen werde.

Eine solche angelaufene Eisenscheibe zeigt noch nach vielen Tagen das nämliche Verhalten, nur bedarf es einer grösseren Zahl von Uebertragungen, um ihre Negativität, besonders gegen die letzterwähnten Metalle, nachzuweisen. Durch erneuertes kurzes Erhitzen rückt sie indes wieder in ihre ursprüngliche Stelle ein.

Wird eine angelaufene, so eben erkaltete Scheibe nur einige Augenblicke auf ihrer Berührungsfläche mit destillirtem Wasser benetzt und mit Fließpapier trocken gerieben, so verändert sich auf der Stelle ihr elektromotorisches Verhältniss. Wiederholt man dieses Reiben mit Wasser oder fand es gleich aufänglich länger und genügend statt, so verhält sich die Scheibe sogar (trotzdem dass sie von einer relativ dicken Schicht von Eisenoxyd, die bei ihrem festen Haften durch jene Behandlung auch nicht im Geringsten entfernt wird, dunkel angelaufen erscheint) *positiv* nicht allein gegen die erwähnten negativen Metalle, sondern auch gegen eine gewöhnliche blanke Eisenscheibe. Dieses Verhalten ist höchst merkwürdig und es erscheint unerklärlich, welche Veränderung der so elektronegative Ueberzug von Eisenoxyd hierbei erleidet, um mit Eisen selbst positiv werden zu können. Diese räthselhafte Veränderung ist indes in einer gewissen Zeit vorübergehend, und es treten hierdurch am Condensator Erscheinungen ein, die mit den am Multiplicator beobachteten Polaritätsumkehrungen galvanischer Ketten grosse Aehnlichkeit haben. Gesetzt z. B. es hätte die angelaufene Scheibe vor der Behandlung mit Wasser durch 5 Uebertragungen nach jedesmaliger Berührung mit einer gewöhnlichen Eisenscheibe, das Goldblatt mit *negativer* Elektricität zum Anschlagen gebracht, so werden nach der erwähnten Behandlung, z. B. 25 Uebertragungen nunmehr einen *positiven* Anschlag bewirken, eine Viertelstunde später werden zu letzterem schon 40 Uebertragungen

erforderlich, nach einer abermaligen Viertelstunde tritt selbst nach 50 — 60 keine Bewegung des Goldblattes mehr ein und jede elektrische Differenz erscheint verschwunden, aber nach weiterem Verlaufe einiger Zeit bewegt sich nach der letztgenannten Zahl von Uebertragungen das Goldblatt von Neuem und zwar wieder mit *negativer* Elektricität, und wiederholt man die Prüfung in Zwischenräumen, so zeigen sich immer wenigere nöthig, so dass endlich nach einem Zeitraume von z. B. 12 Stunden 10 Uebertragungen bereits wieder genügen, einen *negativen* Ausschlag hervorzubringen. Bei letzterer Zahl verbleibt es schon deshalb in weiterer Zeit, da die angelaufene Scheibe, wie ich oben erwähnte, auch ohne mit Wasser gerieben zu werden, mit der Zeit an der anfänglichen Stärke ihrer Negativität von selbst verliert.

Reibt man eine angelaufene Scheibe schwächer oder stärker mit Rostpapier, so dass mehr oder weniger Theilchen der sie bedeckenden Oxydhaut hinweggenommen werden und Stellen der reinen Eisenoberfläche zum Vorschein kommen, so zeigt sie am Condensator ein ganz ähnliches Verhalten, wie das eben beschriebene nach dem Reiben mit Wasser. Da es jedoch mit dem in der vierten Versuchsreihe zu besprechenden in jeder Beziehung übereinstimmt, so enthalte ich mich hier, in die Einzelheiten desselben einzugehen.

Vierte Versuchsreihe.

Eine Eisen- oder Stahlscheibe, die unter eine neutrale Auflösung von 1 Th. salpetersauren Silbers in 8 — 12 Th. Wassers gelegt wird, verhält sich nie so vollkommen unwirksam oder passiv, dass nicht an einzelnen Stellen eine schwache Reduction zu Stande kommt. Nichts desto weniger verhält sich eine solche Scheibe, wenn man sie nach 5 Minuten oder nach etwas längerer Zeit herausnimmt und abtrocknet, wobei die hier und da an ihrer Oberfläche befindlichen gefällten glänzenden Silberblättchen sich leicht abwischen lassen, in so hohem Grade *negativ* gegen eine

gewöhnliche Eisenscheibe, dass 2—3 Uebertragungen meistens hinreichen, den Condensator vollständig zu laden, und dass sie, auch ohne Anwendung des letzteren, isolirt von der andern abgehoben, einen schwachen negativen Ausschlag zu bewirken vermag. Mit *Kupfer*, *Silber* und *Gold* verhält sie sich ebenfalls bedeutend *negativ* und nur mit einer angelaufenen Eisenscheibe nimmt sie *positive* Elektricität an. Ihr negatives Verhalten mit den genannten Metallen zeigt sich nach Verlauf vieler Tage nur sehr wenig geschwächt.

Eine *Stahlscheibe*, in Silberlösung passiv geworden, verliert durch Reiben mit Wasser nichts von ihrer Negativität, vielleicht weil Stahl an und für sich, wie ich anführte, durch Reiben mit Wasser nie anders als negativ wird. Passiver *Stahldraht* zeigte sich daher noch unwirksam in salpetersaurer Kupferlösung, selbst nachdem er vorher über eine Viertelstunde in destillirtes Wasser getaucht worden war¹).

Anders zeigt sich das Verhalten einer passiven *Eisenscheibe* und stimmt mit dem oben bei dem angelaufenen Eisen beschriebenen überein. Sie nimmt sogleich nach dem Reiben mit Wasser eine höhere Stelle in der Spannungsreihe ein und sinkt dann, je nach der Stärke der erlittenen Einwirkung, in mehr oder weniger Stunden zu ihrer früheren tiefen Stelle herab.

Leichter und schneller lässt sich eine Veränderung und völlige Umkehrung des elektromotorischen Zustandes einer durch Silberlösung negativ gemachten Eisen- und Stahlscheibe bewirken, wenn man sie schwächer oder stärker mit Rostpapier reibt. Hatte das Abreiben die zureichende Stärke, so lässt sich schon durch 10—20 Uebertragungen

1) Der Widerspruch, in dem diese Angabe mit meiner früheren (siehe Schweigger, Bd. 56, S. 214), dass nämlich unwirksam gemachter Stahl durch bloß eine halbe Minute dauerndes Eintauchen in destillirtes Wasser seine Wirksamkeit wieder erhalte, steht, findet vielleicht seine Lösung darin, dass ich mich zu meinen früheren Versuchen einer *sauen* salpetersauren Silberlösung bediente. Das Verhalten der einzelnen Drähte ist überhaupt ein verschiedenes, und manche der zu den Experimenten verwandten Stricknadeln mochten wohl, wie ich schon erwähnte, aus Eisen bestehen.

nachweisen, dass sie nun gegen eine gewöhnliche Eisen-scheibe *positiv* sich verhält, und wiederholt man die Prüfung von Zeit zu Zeit, so zeigen sich immer mehr Uebertragungen zu dieser Nachweisung nöthig; es erscheint ein Zeit-punkt, wo ihr elektromotorisches Vermögen mit der anderen ganz Null ist, und bald darauf zeigt sich wieder ein *negativer* Ausschlag, der im weiteren Verlaufe der Zeit bei im-mer weniger Uebertragungen entsteht.

Findet ein minder starkes Abreihen statt, so wird das elektrische Verhalten der Scheibe nicht umgekehrt. Sie bleibt, obwohl in verringertem Maafse, *negativ* gegen ge-wöhnliches Eisen und erscheint blos *positiv* gegen die übri-gen negativen Metalle. Nach einer oder mehreren Stunden erreicht sie dann fast ganz ihre anfängliche Negativität.

Um die Ursache dieses ganzen Verhaltens zu veranschau-lichen, ließ ich von zwei homogenen Stahlscheiben die eine galvanisch vergolden. Man konnte nun mit drei oder vier Uebertragungen darthun, dass die vergoldete negativ mit der andern wurde, und rieb ich hierauf wiederholt Gold von ihrer Oberfläche ab, so wurde eine immer grössere Zahl von Uebertragungen zu dem negativen Ausschlage erforderlich. Waren fast alle Goldtheilchen abgerieben und erschien die entblößte Stahlfläche nur noch, von der Seite betrachtet, gelblich schimmernd, so stellte sich, wie oben, ein positiver Ausschlag ein, der nach einiger Zeit in einen negativen umschlug u. s. w.

Nimmt man nun an, dass die Eisen- oder Stahlscheibe in der Silberlösung einen, nur nicht wie bei der Vergol-dung sichtbaren, sondern wegen seiner höchst dünnen und farblosen Beschaffenheit dem Auge unbemerkbaren, elektro-negativen Ueberzug von Eisenoxyd erhält, so liegt die Er-klärung des in Rede stehenden Verhaltens nahe. Wird nämlich der Ueberzug stellenweise abgerieben, so tritt frische Eisenoberfläche hervor, welche, der ersten Versuchsreihe zu-folge, sich stets positiv verhält gegen eine andere, weniger frische. Da indess zwei Flächen solcher Art stets nach eini-ger Zeit durch die Bildung des an der Atmosphäre entstehen-

den Ueberzugs homogen werden, so erhält wieder diejenige, an welcher noch dem Abreiben entgangene Theilchen des Ueberzugs haften, das Uebergewicht und erscheint nach Maafsgabe der Menge dieser nicht sichtbaren Reste von Neuem negativ gegen die andere.

Es erklärt sich nun auch jener auffallende Versuch, welcher mich hauptsächlich bestimmte, den passiven Zustand des Eisens als ein dynamisches Phänomen zu betrachten. Wenn ein durch Silberlösung passiv gemachter Eisendraht durch einige starke Striche mit Rostpapier seine Unwirksamkeit in salpetersaurer Kupferlösung verliert, und durch Liegen an der Luft sie wieder erlangt, so sind es begreiflich die dem Abreiben entgangenen, an dem Drahte zurückbleibenden Reste des unsichtbaren Ueberzugs, die den Grund des frappirenden Versuches abgeben. Die entblößte ganz frische Oberfläche vermag nämlich nicht durch die an anderen Stellen noch haftende elektronegative Hülle in den passiven Zustand zu treten, sondern sie bildet im Gegentheile mit derselben eine kräftige galvanische Kette, welche sofort bei dem Eintauchen Reduction und Fällung des Kupfers bewirkt. Hat hingegen die in Folge des Abreibens zum Vorschein gekommene Eisenoberfläche durch die Einwirkung der Luft an ihrer Elektropassivität verloren, so vermögen jene Reste der noch haftenden Hülle sie selbst in den unwirksamen Zustand zu versetzen, gerade so, wie ein gewöhnlicher Eisendraht nach vorgängigem nur einige Linien tiefem Eintauchen in Silberlösung sich nicht überkupfert, wenn er auch viele Zoll tief in die salpetersaure Kupferlösung gebracht wird. Man muss hierbei noch folgende Umstände im Auge behalten. Die genannte Kupferlösung wird, wenn sie concentrirt und neutral ist, überhaupt nicht durch Eisen gefällt. Reagirt sie dagegen säuerlich, so findet man, dass ein gewöhnlicher Eisendraht auch dann noch mehrentheils in derselben keine Fällung zeigt, aber letztere sogleich bewirkt, wenn er unmittelbar vor dem Eintauchen mit Rostpapier abgerieben worden war. Der elektronegative Ueberzug, welchen das anscheinend noch so

blan-

so blanke und reine Eisen an der Luft erhält, ändert also, wie man sieht, an und für sich schon das chemische Verhalten dieses Metalles ab. Dieser sowohl, wie auch der viel elektronegativere, durch die Silberlösung entstehende, scheint so fest zu haften, dass er durch Reiben mit weichen Körpern, wie Papier, oder selbst durch nicht zu derves Reiben mit harten, aber in die feinste Pulverform gebrachten Materien, wie Pariser Roth, in vielen Fällen nicht entfernt werden kann, und es erklärt sich hieraus, warum ein in Silberlösung gelegener Draht nur nach dem Reiben mit Rostpapier vorübergehend seine Passivität einbüsst. Wenn er letztere indefs bei meinen früheren Versuchen auch nach dem Abschaben behauptete, so muss allerdings diese, mit dem eben Angeführten im Widerspruch stehende Angabe auf einem Irrthume beruhen, und ich muss annehmen, dass ich entweder den zu den Versuchen angewandten Draht nach dem erwähnten Abschaben zu lange der Luft ausgesetzt ließ, oder dass die damals angewandte salpetersaure Kupferlösung keine hinlängliche freie Säure besaß. Die Schwierigkeit, das richtige Maass der freien Säure bei genannter Lösung zu treffen, ist es besonders, die bei diesen Versuchen leicht zu irrgen Schlüssen verleitet. Ist nämlich der freien Säure zu wenig vorhanden, so lässt dieser und jener Draht die Kupferlösung unzersetzt, und erscheint daher fälschlich als ein solcher, der die empfangene Passivität ungeschwächt erhalten hat, und ist zu viel freie Säure zugegen, so werden selbst die wirklichen passiven Drähte so schnell überkupfert, dass sie leicht als des passiven Zustandes schon vor dem Eintauchen verlustig gewordene erscheinen.

*V. Ueber die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur;
von J. Müller in Halle.*

Zu den Zeichen des innigen Zusammenhangs zwischen Wärme und Elektricität rechnet man mit Recht den Einfluss der Temperatur auf den elektrischen Leitungswiderstand. Die genauesten Messungen dieses Einflusses in Bezug auf Drähte hat Lenz in Poggendorff's Annalen, Bd. 34 und 45, gegeben. Derselbe hat bekanntlich aus seinen Messungen empirische Formeln berechnet, und zwar für jedes Metall eine andere. Der Leitungswiderstand nimmt nämlich für ein Metall bei derselben Temperaturerhöhung schneller zu als für ein anderes. Und wenn wir ihn als eine Function der Temperatur darstellen wollen, so ist die Natur der Function bei den verschiedenen Metallen eine verschiedene. Daraus folgt, daß der Leitungswiderstand nicht unmittelbar und allein von der Temperatur, sondern auch von einer andern — oder allein von einer andern Veränderlichen abhängt. — Mit der Temperatur zugleich, aber nicht proportional derselben, ändern sich nämlich noch mehrere andere Eigenschaften der Metalle; und es ist von vorne herein nicht einzusehen, warum der Leitungswiderstand nicht eben so gut von einer dieser Größen abhängen soll als von der Temperatur.

Diese mit der Temperatur veränderlichen Größen sind: die Cohäsion, das Volumen, die specifische Wärme. — Es entsteht nun die Frage: woran wir erkennen können, ob der Leitungswiderstand vielleicht eine unmittelbare Function von irgend einer dieser Veränderlichen sey? — Dieselben verändern sich bei den verschiedenen Metallen mit verschiedener Geschwindigkeit. Dasselbe gilt vom Leitungswiderstand. Ist dieser nun eine Function von irgend einer jener Größen, so wird bei zunehmender Temperatur die Geschwindigkeit seines Wachsens bei den verschiede-

nen Metallen im Verhältnis stehen zu der Geschwindigkeit des Wachsens jener Gröfse, von der der Leitungswiderstand abhängt; und bei dem Metall, wo jene Gröfse schneller wächst als bei einem andern, wird auch der Leitungswiderstand schneller wachsen.

Hierin haben wir ein brauchbares Kennzeichen. In Bezug auf die Cohäsion lässt es sich aber nicht anwenden, weil wir nichts darüber wissen, in welcher Weise dieselbe bei Erhöhung der Temperatur abnimmt. Wir können also nur das Zunehmen des Volumens, der specifischen Wärme und des Leitungswiderstandes bei Erhöhung der Temperatur vergleichen.

Ueber das Zunehmen des Volumens haben wir ausreichende Versuche von verschiedenen Experimentatoren. Ich habe die Vergleichung mit dem Leitungswiderstande ausgeführt; es wäre unnütz die berechneten Zahlen hieherzuschreiben, denn es findet gar kein Zusammenhang statt. Wir wollen nun die specifische Wärme mit dem Leitungswiderstande vergleichen.

In Bezug auf das Zunehmen der specifischen Wärme sind nur die Versuche von Dulong und Petit über mehrere Metalle ausgedehnt. An diese müssen wir uns daher halten, obgleich sie manches zu wünschen übrig lassen. Die schwierigen Umstände, mit denen diese Experimente verknüpft sind, haben mich bisher gehindert die Beobachtungen des Wachsens der specifischen Wärme weiter auszudehnen, wie dies zur genaueren Ergründung dieses Verhältnisses nöthig ist.

In Bezug auf das Wachsen des Leitungswiderstandes will ich mich vorzüglich an die von Lenz gegebenen empirischen Formeln halten, zu deren Bestätigung ich eine Versuchsreihe mit dem Eisendrahte gemacht habe. Beim Quecksilber und Zink, von denen die specifische Wärme zwar durch Dulong und Petit, aber der Leitungswiderstand nicht durch Lenz untersucht ist, halte ich mich in Bezug auf diesen letzteren an meine eigenen Versuche.

Lenz hat sich zur Messung des Leitungswiderstandes

eines elektromagnetischen Stromes bedient, dessen elektromotorische Kraft er bei jedem Versuche gleich annahm, da der Anker immer mit derselben Geschwindigkeit abgerissen wurde. Aus der beobachteten Menge der durchgehenden Elektricität bei verschiedenen Einschaltungen leitete er dann den Widerstand der Einschaltungen ab. Gegen dies Verfahren könnte man den Einwurf erheben, die Fehler, die aus der unvermeidlichen Ungleichmäfsigkeit im Abreissen des Ankers entspringen, seyen zu bedeutend; ferner ließe sich der Ausschlagswinkel nicht mit Genauigkeit ablesen. Indess hat Lenz diese Fehler möglichst vermieden, und eine so bedeutende Anzahl von Versuchen gemacht, dass seine Formeln doch einen bedeutenden Grad von Genauigkeit erreichen konnten.

Ich habe mich bei meinen Versuchen des von Hankel in Poggendorff's Annalen, Bd. 69, angegebenen Differentialgalvanometers bedient, das nach meiner Meinung das beste Instrument ist zu allen Bestimmungen des Leitungswiderstandes. Die Empfindlichkeit war bei meiner Anordnung so gross, dass ein Unterschied im Leitungswiderstande der beiden Arme, der durch ein Stückchen Kupferdraht von gleicher Länge als Dicke hervorgebracht wurde, sehr bemerklich war, obgleich ich als Elektromotor nur ein schwaches Daniell'sches Element anwandte. Die grossen, über die Scale hinausgehenden Schwankungen, welche durch Veränderungen der Lufttemperatur und den ungleichartigen Einfluss derselben auf die Zuleitungsdrähte entstanden, wurden aufgewogen durch ein etwa Zoll langes, in den einen Arm eingeschaltetes, Stückchen Eisendraht, dessen Länge durch eine Schraube verändert werden konnte. Die Ungenauigkeit im Messen der Temperaturen ließ sich dagegen nicht ganz wegschaffen, obgleich ich alle Vorsichtsmafsregeln anwandte. Den zu messenden Draht wickelte ich in mehrfachen Lagen auf eine hölzerne Spule, so dass er dieselbe nur mit jeder Windung in vier Punkten berührte, dass keine Windung einer andern eine Linie nahe kam, und dass das Oel, in welches ich die Spule hineinstellte, frei

zwischen den Windungen des Drahtes hindurchfließen konnte. Die Temperatur des Oels maß ich mit einem in der Axe der Spule stehenden Thermometer. Vor jeder Ablesung an demselben wurde das Oel stark mit einer Krücke umgerührt. Um die Beobachtungsfehler noch mehr zu eliminiren, machte ich die Annahme (was man gewiss ohne merklichen Fehler thun kann), daß innerhalb weniger (5 bis 10) Grade sich der Leitungswiderstand proportional der Temperatur ändere, und nahm aus den Beobachtungen in diesem Zwischenraum das arithmetische Mittel.

Zum Messen des Widerstandes bediente ich mich eines Eisendrahts auf ganz ähnliche Weise wie Hankel. Da der Draht seine Temperatur mit der der Luft während der Versuche änderte, so wurde die Temperatur der umgebenden Luft an zwei Thermometern abgelesen, und nachher die gehörige Correction angebracht.

Das Maafs (eine Linie des Eisendrahts bei 20° C.), in dem ich den Widerstand ausdrücke, ist also ganz willkürlich.

Für den Eisendraht erhielt ich folgende Resultate, die ich dem Leitungswiderande gegenüberstelle, wie er nach Lenz's Formel aus der ersten Beobachtung bei 24°,62 berechnet ist.

Temperatur Celsius.	Beobachteter Widerstand.	Berechneter Widerstand.	Differenz.
24,62	3270,7	3270,7	0
34,94	3415,3	3395,62	+20,32
46,03	3579,1	3545,55	+33,55
53,00	3674,2	3643,75	+30,45
65,39	3865,0	3826,05	+38,95
79,05	4074,5	4038,80	+35,70
86,40	4211,7	4158,46	+53,24
93,93	4352,2	4284,90	+67,30
103,19	4513,0	4445,7	+67,30
114,77	4708,5	4655,13	+53,37
127,35	4943,5	4892,84	+50,66
135,60	5112,0	5065,87	+46,13
144,98	5292,3	5242,36	+49,94
158,05	5545,0	5514,80	+30,20

Mittel aus etwa sechs Beobachtungen.

Aus dieser Reihe ersicht man erstens, dass meine Versuche recht gut mit der Lenz'schen Formel übereinstimmen, denn die grösste Differenz beträgt bei weitem noch nicht 0,02 vom Leitungswiderstände. Ferner sieht man aus der Zeichengleichheit und dem allmälichen Wachsen und Abnehmen der Differenz, dass dieselbe auch nicht auf Beobachtungsfehlern beruht, sondern dass das Eisen in meinen Versuchen einem etwas anderen Gesetz gefolgt ist als bei Lenz, was sich wohl dadurch erklären lässt, dass wir verschiedene Sorten Eisendraht benutzt haben mögen. Zur Ergänzung der Lenz'schen Versuche theile ich hier Messungen des Leitungswiderstandes eines Zinkdrahtes und eines Quecksilberfadens mit. Neben den beobachteten Widerstand habe ich die für den Widerstand unter der Voraussetzung, dass derselbe zwischen 23° und 150° mit der Temperatur proportional zunehme, aus der ersten und letzten Beobachtung berechneten Zahlen gestellt.

Temperatur des Zinkdrahts, C	Beobachteter Widerstand.	Unter der angegebenen Voraussetzung berechneter Widerstand.	Differenz.
23,8	511	511	0
36,0	534	533	-1
46,9	551	553	+2
53,4	558	565	+7
63,6	575	583	+8
73,6	596	601	+5
83,8	613	619	+6
94,6	632	639	+7
104,3	650	657	+7
114,2	669	675	+6
126,8	693	698	+5
136,2	713	715	+2
143,9	731	728	-3
150,9	741	741	0

Mittel aus etwa fünf Beobachtungen.

Aus der Differenz sieht man, dass die Zunahme des Leitungswiderstandes beim Zink in diesen Gränzen dem Temperaturunterschiede fast ganz proportional ist; denn die grösste Differenz beträgt noch nicht 0,015 des Leitungswiderstandes. Jedoch ist eine kleine Abweichung von der

Proportionalität durch das Zunehmen der Differenz nach der Mitte zu bestimmt angedeutet.

Um den Leitungswiderstand des Quecksilbers zu untersuchen, wurde eine 30" lange Thermometerröhre an 7, je $3\frac{1}{2}$ Zoll von einander und von den Enden entfernten, Stellen um 180° gebogen, so dass die einzelnen Stücke einander parallel und $\frac{1}{2}$ Zoll von einander entfernt waren, und überdies in der Peripherie eines etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser haltenden Cylinders lagen. An den Enden der Thermometerröhre waren kurze, weite Glasröhren angeschmolzen, die zur Aufnahme des Quecksilbers und zur Herstellung der leitenden Verbindung dienten. Der ganze Apparat wurde mit Quecksilber sorgfältig gefüllt in ein Gefäß mit Oel gestellt, und in die Axe des Cylinders kam ein Thermometer, das die Temperatur des Oels angab. Natürlich wurde dieselbe, bevor sie abgelesen wurde, eine Zeit lang möglichst constant erhalten. Folgendes waren die Resultate.

Mittel aus fünf Beobachtungen.

Temperatur des Quecksilbers. Celsius.	Beobachteter Widerstand.	Unter angegebenen Voraussetzungen berechneter Widerstand.	Differenz.
18,6	442	442,0	0
27,2	447	446,4	-0,6
35,0	448	450,0	+2,0
45,7	452	455,6	+3,6
54,4	457	460,3	+3,3
67,5	460	467,0	+7,0
76,5	466	471,6	+5,6
86,9	469	476,9	+7,9
99,1	476	483,1	+7,1
108,3	481	487,9	+6,9
117,8	488	492,8	+4,8
128,0	493	498,1	+5,1
135,3	499	501,8	+2,8
142,2	505	505,3	+0,3
151,4	510	510,0	0

Man sieht, hier ist die Abweichung der Curve von der geraden Linie schon bedeutender; doch beträgt in diesen

Gränzen die grösste Differenz noch nicht 0,02 des Leitungswiderstandes. — Aus diesen Versuchen kann man den Leitungswiderstand des Zinks und des Quecksilbers für jede Temperatur zwischen 20° und 150° durch Interpolation berechnen.

Dulong und Petit haben nun, um die Zunahme der specifischen Wärme mit der Temperatur zu zeigen, bei mehreren Metallen die mittlere Capacität erstens zwischen 0° und 100°, und dann zwischen 0° und 300° beobachtet. Diese Zahlen können wir noch nicht unmittelbar gebrauchen. Wir müssen die Annahme machen, dass sich die Capacität zwischen 0° und 300° proportional mit der Temperatur ändere. Zwar wird diese Annahme wohl falsch seyn, aber sie wird sich nicht weit von der Wahrheit entfernen, was durch die Analogie der übrigen mit der Temperatur veränderlichen Grössen, und namentlich auch durch Pouillet's genauere Versuche über das Platin, höchst wahrscheinlich gemacht wird.

Wenn wir jene Annahme machen, so kennen wir die ungefähre specifische Wärme für zwei bestimmte Temperaturen, nämlich für 50° und 150° C. Dividiren wir die Capacität bei 150° durch die bei 50°, so giebt der Quotient die Schnelligkeit an, mit der die Capacität gewachsen ist. Diese Division wollen wir ausführen, und wollen denselben Quotienten für den Leitungswiderstand daneben schreiben. Für das Eisen, Platin, Kupfer und Silber habe ich die Widerstände aus den Lenz'schen Formeln, für Zink und Quecksilber aus meinen Versuchen durch Interpolation berechnet.

	Capacität		Leitungswiderstand		Quotienten	
	bei 50°.	bei 150°.	bei 50°.	bei 150°.	der Capacität.	des Widerstandes.
Quecksilber	0,0330	0,0350	455	509	1,060	1,119
Platin	0,0335	0,0355	12,7144	15,4455	1,060	1,217
Kupfer	0,0949	0,1013	57,8432	68,6497	1,067	1,279
Zink	0,0927	0,1015	554	740	1,094	1,333
Silber	0,0557	0,0611	117,667	138,915	1,096	1,336
Eisen	0,1098	0,1218	13,632	9,536	1,109	1,484

Wir haben die Metalle so geordnet, dass die Quotienten, welche die Schnelligkeit in der Zunahme der Capacität bezeichnen, in der Reihe immer *wachsen*, und wir finden, dass die Quotienten des Widerstandes der Gröfse nach in derselben Ordnung stehen. Wenn nun die Schnelligkeit der Zunahme des Widerstandes nicht abhinge von der Schnelligkeit der Zunahme der Capacität, so wäre von den 720 verschiedenen Permutationen, in denen sich die sechs Metalle ordnen lassen, jede für die Reihenfolge der Quotienten des Widerstandes gleich möglich.

Daraus aber, dass die Quotienten des Widerstandes in derselben Ordnung stehen mit denen der Capacität, folgt mit einer Wahrscheinlichkeit von 720 zu 1, dass die Schnelligkeit der Zunahme des Widerstandes abhängt von der Schnelligkeit der Zunahme der Capacität.

Man könnte sagen, wenn dies Gesetz richtig wäre, müfste sich ein gewisses constantes Verhältnis der beiden Quotienten zu einander auffinden lassen. Indessen muss man bedenken, dass dazu ein großer Grad der Genauigkeit in den Messungen erforderlich wäre, den die Beobachtungen von Dulong und Petit, wie Regnault nachgewiesen hat, nicht besitzen. Und wenn sie ihn auch besäßen, so sind die Quotienten deshalb doch noch nicht genau, da sie unter der Voraussetzung gebildet sind, dass die specifische Wärme zwischen 0° und 300° proportional mit der Temperatur wächst; überdies beeinträchtigt der Umstand, dass die Metalle bei den Versuchen nicht von demselben Grade der Reinheit angewandt sind, die Genauigkeit. — Betrachten wir die beiden Reihen der Quotienten näher, so wird dadurch die Wahrscheinlichkeit jenes Gesetzes bestätigt und erhöht. Die grösste Abweichung finden wir beim Quecksilber. Aber gerade hier lässt sie sich am leichtesten erklären, und gerade hier war die grösste Abweichung zu erwarten. Denn das Quecksilber unterscheidet sich in den angenommenen Temperaturgränzen von den übrigen fünf Metallen durch seine Flüssigkeit. Als flüssiges Metall berührt es aber die Wände des Gefässes,

in welches es bei den Beobachtungen der specifischen Wärme nach der Abkühlungsmethode gethan wird, weit inniger als die festen Metalle dies thun. Dieser Umstand ist aber von Einfluss auf das Resultat der Beobachtungen und die Quelle der Ungenauigkeit der Messungen von Dulong und Petit. — Recht auffallend sprechen Zink und Silber in unserer Reihe für jenes Gesetz. Denn während sie fast denselben Quotienten der Capacität haben, haben sie auch fast denselben Quotienten des Leitungswiderstandes.

Wenn sich dies Gesetz bei genauerer Untersuchung bestätigen sollte, so würde es, wie ich glaube, nicht ohne Wichtigkeit seyn für die Lehre von den chemischen Aequivalenten und für die Theorie der Erwärmung durch den elektrischen Strom.

VI. Ueber die Schwingungen gespannter und nicht gespannter Stäbe; von A. Seebeck.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus den Bericht. d. K. sächs. Gesellsch. der Wissenschaften.)

Diese Abhandlung zerfällt in zwei Theile. Der erste handelt von den ausgezeichneten Punkten nicht gespannter schwingender Stäbe. Es wird nämlich gezeigt, wie man die Schwingungsknoten, welche bisher nur für einen an beiden Enden freien Stab berechnet worden sind, für alle übrigen Fälle nach einem gemeinsamen Verfahren berechnen und dieses auch auf die Wendepunkte, so wie auf die Punkte der stärksten Schwingung und der stärksten Biegung anwenden kann.

Ist der Stab an einem Ende eingeklemmt, am andern frei, so kann die Gleichung für die Bestimmung der Knoten auf folgende Form gebracht werden:

$$\sin \left(\alpha x - \frac{\pi}{4} \right) = \delta \gamma \frac{1}{2},$$

wo x die Entfernung der Knoten vom freien Ende bedeu-

tet, α eine durch die Berechnung der Töne bekannte Größe ist, und

$$\delta = \pm e^{-a(l-x)} + e^{-ax} \pm e^{-al} (\sin \alpha x + \cos \alpha x).$$

Das obere Zeichen gilt für die ungeraden, das untere für die geraden Töne. Diese Gleichungen geben, da δ stets — mit Ausnahme des ersten Knoten — eine sehr kleine Größe ist, zuerst einen Näherungswert für αx , mit welchem die Näherung auf jeden beliebigen Grad fortgesetzt werden kann. Für den ersten Knoten erhält man durch Anwendung von Reihen den ersten Näherungswert $\alpha x = 1,04$, mit welchem die Näherung ebenfalls beliebig fortgesetzt werden kann. Die Wendepunkte haben vom festen Ende genau dieselbe Entfernung wie die Knoten vom freien Ende. Eine gleiche Beziehung findet zwischen den Punkten der stärksten Schwingung und denen der stärksten Biegung statt.

Auf gleiche Weise können die ausgezeichneten Punkte für die übrigen Fälle bestimmt werden. Zwischen dem Falle wo beide Enden frei sind, und dem wo beide fest sind, findet die Analogie statt, dass die Knoten im einen Falle genau dieselbe Lage haben, wie die Wendepunkte im andern, und eben so die Punkte der stärksten Schwingung im einen Falle denen der stärksten Biegung im andern entsprechen. Dieselbe Analogie gilt für die beiden Fälle, wo ein Ende angestemmt, das andere entweder fest oder frei ist.

In der folgenden Tabelle ist die Lage sämtlicher Knoten und Wendepunkte zugleich mit der Schwingungsmenge für die verschiedenen Fälle zusammengestellt.

T a b e l l e *zur druck auf, w*
über die Schwingungsmenge nicht gespannter Stäbe

nach der Formel $N = \frac{\epsilon^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{ag}{p}}$ p. Sec.

so wie über die Lage der Knoten und Wendepunkte, die Länge des Stabes = 1 gesetzt.

- Erster Fall.

Ein Ende fest, das andere frei

Zweiter und dritter Fall.

Beide Enden { frei }

Vierter und Fünfter Fall.

Ein Ende angestemmt, das andere { frei }
fest

Sechster Fall.

Beide Enden angestemmt.

Der Ton: $\varepsilon = i$; Entfernung des k^{ten} Knoten und Wendepunkts vom Ende $= \frac{k}{i}$.

Der zweite Theil der Abhandlung bezieht sich auf die *Schwingungen gespannter Stäbe*. Diese sind hauptsächlich deshalb von Interesse, weil die Saiten, streng genommen, in diese Klasse gehören, und die Gesetze der letzteren die Correction ergeben müssen, welche die gewöhnliche Formel der Schwingungsmenge der Saiten wegen der Steifheit zu erhalten hat.

N. Savart hat dieses Gesetz durch Versuche an ziemlich starken, kurzen, gespannten Drähten zu ermitteln gesucht, und gefunden, dass zwischen der Schwingungsmenge des nicht gespannten Drahtes: n_0 , der nach der Taylor'schen Formel berechneten des gespannten, nicht steifen Drahtes: n_1 , und der unter gleichzeitiger Wirkung der Spannung und Steifheit beobachteten: n die Gleichung $n^2 = n_0^2 + n_1^2$ stattfindet. Es kann jedoch aus den Versuchen nicht entnommen werden, ob diese Regel in solcher Annäherung stattfinde, dass danach jene Correction berechnet werden dürfte.

Duhamel hat durch eine sehr einfache Betrachtung dieselbe Regel theoretisch herzuleiten gesucht. Es ist jedoch diese Herleitung an eine Voraussetzung geknüpft, welche, wie sich zeigen lässt, nur bei einer bestimmten Gestalt des schwingenden Stabes zulässig ist, aber unmöglich wird, wenn der Draht, wie bei Savart's Versuchen, an beiden Enden eingeklemmt ist.

Man muss, um keinen Fehlschluss zu thun, auf die allgemeine Bewegungsgleichung zurückgehen, welche sich aus der vereinigten Wirkung der Spannung und der Elasticität ergiebt.

Diese Gleichung ist:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{Pg}{p} \frac{d^2y}{dx^2} - \frac{ag}{p} \frac{d^4y}{dx^4},$$

wo P die Spannung, $a \frac{d^2y}{dx^2}$ das elastische Moment des Stabes und p das Gewicht einer Längeneinheit desselben bezeichnet. Die besonderen Integrale dieser Gleichung, welche den einzelnen Tönen entsprechen, geben für die Gestalt des schwingenden Stabes die Gleichung:

$$y = Ae^{ax} + Be^{-ax} + C \sin \beta x + D \cos \beta x$$

wo:

$$\alpha^2 = \frac{P}{2a} + \sqrt{\frac{P^2}{4a^2} + \frac{n^2 p}{ag}}$$

und

$$\beta^2 = -\frac{P}{2a} + \sqrt{\frac{P^2}{4a^2} + \frac{n^2 p}{ag}},$$

wenn n die Schwingungsmenge in der Zeit 2π bezeichnet. Ist nun:

1) der Stab an jedem Ende mit einer Queraxe versehen (oder angestemmt), so erhält man für die Schwingungsmenge denselben Ausdruck, welchen Savart auf dem Wege des Versuchs gefunden. Auch ist auf diesen Fall Duhamel's Theorie anwendbar. Nicht so:

2) wenn der Stab an beiden Enden eingeklemmt ist. Hier kommt man auf eine Gleichung, welche in diese Form gebracht werden kann:

$$\tan \beta l = \frac{2\alpha\beta}{\alpha^2 - \beta^2} \left\{ 1 + 2(e^{-2\alpha l} + e^{-4\alpha l} + \dots) - \frac{2}{\cos \beta l} (e^{-\alpha l} + e^{-3\alpha l} + \dots) \right\}$$

wo l die Länge des Stabes bezeichnet.

Um hiernach zu rechnen, kann man zuerst in großer Annäherung setzen:

$$\tan \beta l = \frac{2n}{P} \sqrt{\frac{ap}{g}},$$

eine Gleichung, welche in Verbindung mit der folgenden

$$n^2 = \frac{ag}{p} \beta^4 + \frac{Pg}{p} \beta^2$$

schnell auf einen sehr genäherten Werth von n führt. Mit diesem kann dann auch die vorhergehende genaue Glei-

chung in beliebiger Annäherung berechnet werden. Diese Theorie stimmt nicht ganz mit Savart's Versuchen überein, doch sind die Differenzen nicht so groß, dass sie nicht aus den Fehlerquellen der Beobachtung erklärt werden könnten.

Für gewöhnliche Saiten, wo $\frac{a}{Pl^2}$ sehr klein ist, kann der Ausdruck für die Schwingungsmenge auf eine hinreichend genaue, sehr viel einfachere Form gebracht werden. Es wird nämlich, mit Vernachlässigung der zweiten und höheren Potenzen von $\sqrt{\frac{a}{Pl^2}}$,

$$n = n_1 \left(1 + 2 \sqrt{\frac{a}{Pl^2}} \right),$$

wo n_1 die Schwingungsmenge für die absolut biegsame Saite ist, oder auch, wenn r den Halbmesser der Saite und m den Elasticitätscoefficienten bezeichnet:

$$n = n_1 \left(1 + \frac{r^2}{l} \sqrt{\frac{m \pi}{P}} \right).$$

Hieraus ergibt sich eine Correction, welche bei genauen Monochordversuchen keineswegs zu vernachlässigen ist; sie beträgt z. B. bei einigen Versuchen, welche der Verf. früher zur Bestimmung der Töne von Stimmgabeln mit einer ziemlich dünnen Stahlsaite angestellt hat, 1 Schwingung auf 127.

Setzt man die Annäherung bis zur Berücksichtigung der zweiten Potenz von $\sqrt{\frac{a}{Pl^2}}$ fort, so kann man für die Schwingungsmenge des i^{ten} Tones schreiben:

$$n = i n_1 (1 + i^2 \delta),$$

wo:

$$n_1 = \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{P_g}{P} \left(1 + 4 \sqrt{\frac{a}{Pl^2}} + 12 \frac{a}{Pl^2} \right)}$$

und:

$$\delta = \frac{1}{2} \pi^2 \frac{a}{Pl^2},$$

woraus man sieht, dass die kleine Stufe, um welche der 2^{te} Ton von der harmonischen Reinheit gegen den ersten abweicht, durch $\frac{1+i^2\delta}{1+\delta}$ ausgedrückt wird. Bei einer stark

gespannten Saite von geringer Steifheit wird δ so klein — z. B. $\frac{1}{10000}$ bei dem Monochord des Verf. — dass die Abweichung von der vollkommenen Reinheit völlig unmerklich wird.

VII. Optische Beobachtung während einer Sonnenfinsterniss; von A. Matthiessen.

(*Compt. rend.*, T. XXXV, p. 548. Aus einem Briefe von Hrn. Arago. Altona 10. Oct. 1847.)

— Während der ganzen Dauer der gestrigen Sonnenfinsterniss war die Sonne vollständig durch einen weissen und sehr beständigen Nebel versteckt. Um das Licht dieses Nebels zu zerlegen, bediente ich mich der Linsenprismen, die, wie Sie wissen, die dunklen Striche des Sonnenspectrums sehr deutlich zeigen. Mochte nun der Nebel durch die volle Sonnenscheibe, oder durch eine Sichel von nur einem Sechstel beleuchtet seyn, so blieb doch das optische Spectrum, bis auf die Intensität, durchaus unverändert. Was die dunklen Streifen betrifft, welche das Kennzeichen terrestrischer Absorptionen sind, so zeigten sich gestern morgen nur zwei sehr schwache, einer im Grün, der andere im Blau, aber diese erlitten während der drei Stunden, dass die Beobachtung dauerte, nicht die mindeste Aenderung. Ich schliesse aus diesen Beobachtungen, dass das Licht vom Sonnenrand sich in keiner Weise von dem aus der Mitte unterscheidet, dass die Sonnenatmosphäre, welche die Photosphäre umgibt, keine merkliche Absorption der Lichtstrahlen bewirkt, und nicht die Ursache der dunklen Striche im Spectrum ist.

VIII. Ueber das Ilmenium; von Heinrich Rose.

In mehreren Abhandlungen in dieser Zeitschrift habe ich zum Theil umständlich die Gründe auseinandergesetzt, die mich bewogen haben, die Existenz eines neuen Metalls, des Ilmeniums, nicht anzunehmen, welches Hr. Hermann in Moskau in dem sogenannten Yttroilmenit von Miask in Sibirien gefunden haben will. Ich zeigte, dass dieses Mineral mit dem Samarskit (Uranotantal), welchen mein Bruder zuerst beschrieben hat, vollkommen identisch, und dass die von Hrn. Hermann dargestellte Metallsäure nicht das Oxyd eines neuen Metalls, sondern eine mehr oder weniger unreine Niobsäure sey. Ich glaubte, die Beweise dafür so vollständig geliefert zu haben, dass Hr. Hermann sich von der Richtigkeit derselben überzeugen und dass die Angelegenheit erledigt seyn würde. Dies ist indessen nicht der Fall gewesen. Hr. Hermann ist wiederum mit neuen Beweisgründen für seine Ansicht aufgetreten¹⁾.

Obgleich ich von der Richtigkeit meiner Angaben vollkommen überzeugt war, so hielt ich es doch für Pflicht, eine Reihe neuer Untersuchungen anzustellen. Meine Untersuchungen will ich hier so ausführlich mittheilen, dass sie leicht mit demselben Erfolge wiederholt werden können, und die Frage nun wohl als vollkommen entschieden seyn wird.

Hr. Hermann hatte, unmittelbar nach der Bekanntmachung seines angeblich neuen Metalls, eine kleine Menge des Yttroilmenits an meinen Bruder geschickt. Sowohl durch das äussere Ansehen, als auch durch das spec. Gewicht konnte man sich leicht überzeugen, dass derselbe mit dem von meinem Bruder beschriebenen Uranotantal identisch sey. Ich hielt es jedoch für nothwendig, aus diesem, von Hrn. Hermann selbst für Yttroilmenit erkannten Mineral die Ilmensäure darzustellen, um dieselbe hinsichtlich ihrer

1) Journ. für pract. Chemie, Bd. 42, S. 129.

Poggendorff's Annal. Bd. LXXXIII.

Eigenschaften mit der aus den Columbiten von Bodenmais und von Nordamerika dargestellten Niobsäure vergleichen zu können.

Der geschlammte Yttrioilmenit wurde auf die bekannte Weise mit zweifach-schwefelsaurem Kali geschmolzen, in welchem er sich durch Schmelzen vollständig auflöst. Die geschmolzene Masse wurde mit Wasser ausgelaugt, wobei die Ilmensäure ungelöst zurückblieb, die nur auf dem Filtern mit Schwefelammonium digerirt wurde, wodurch sie sich durch entstandenes Schwefeleisen sogleich schwarz färbte. Nachdem sie darauf mit Chlorwasserstoffsäure vom Schwefeleisen befreit und vollständig ausgesüft worden, betrug sie nur ungefähr ein Grm. Sie wurde darauf mit einer grossen Menge von Zucker innig gemengt, das Gemenge bis zur vollständigen Zerstörung des Zuckers geglüht, und die kohlehaltige Masse in eine Glasmöhre von schwer schmelzbarem Glase und einem ziemlich weiten Durchmesser gelegt. Vor diese Mengung wurde eine beträchtliche Schicht von reiner, aus Zucker dargestellter Kohle gebracht, und die Röhre in einen Ofen gelegt, wie man ihn gewöhnlich zur Analyse organischer Körper benutzt. Ueber das Gemenge wurde zuerst Kohlensäuregas, das durch concentrirte Schwefelsäure und durch Chlorcalcium vollkommen getrocknet worden war, geleitet, und zwar erst kalt, sodann über das stark glühende und darauf über das vollkommen erkaltete Gemenge; endlich nun wurde Chlorgas, das ebenfalls durca concentrirte Schwefelsäure und Chlorcalcium getrocknet worden war, darüber geführt, und zwar sehr lange über das kalte Gemenge. Dann wurde die Kohlenschicht zum starken Glühen gebracht, und darauf das Gemenge der metallischen Säure mit Kohle. Es sublimirte zuerst weisses Niobchlorid, das durch etwas Wolframchlorid röthlich gefärbt wurde; später aber zeigte sich auch etwas gelbes Pelopchlorid. Durch die Flamme einer Spirituslampe mit doppelter Luftpumpe, mit welcher die Chloride erhitzt wurden, kann das Wolframchlorid mit dem Pelopchlorid, aber immer gemengt mit einer bedeutenden Quantität Niobchlorid,

von dem größten Theile des Niobchlorids abgetrieben werden, welches dann weiß zurückbleibt. Auch das Wolframchlorid kann, wenn die Röhre nur eine hinreichende Länge hat (es wurde eine Röhre von 6 Fuß angewandt) zum Theil wenigstens von dem etwas weniger flüchtigen Pelopchlorid auf eine ähnliche Weise getrennt werden, so daß man ein Chlorid erhält, das rötlich ist, und aus Wolframchlorid, Pelopchlorid und etwas Niobchlorid besteht, und ein Chlorid, das gelb ist, und größtentheils aus Pelopchlorid und Niobchlorid besteht. Uebergießt man ersteres mit Ammoniak, so kann man die Wolframsäure daraus scheiden, und mit der Auflösung Versuche anstellen, um sich zu überzeugen, daß diese Säure wirklich in der ammoniakalischen Auflösung enthalten ist.

Auf diese Weise ist es möglich das angebliche Ilmenchlorid in drei Chloride zu zerlegen, welche man freilich nicht durch ihre verschiedene Flüchtigkeit vollständig von einander trennen kann. Aber man bekommt doch so viel von einem reinen Niobchlorid, welches in den drei Chloriden in der bei weitem größten Menge enthalten ist, daß man in der daraus dargestellten Niobsäure alle charakteristischen Eigenschaften derselben erkennen kann.

Diese Säure giebt nämlich mit Phosphorsalz in der inneren Löthrohrflamme ein eben so rein blaues Glas wie die aus den Columbiten erhaltene Niobsäure, was Hr. Hermann läugnet. Ich habe schon früher bemerkt, daß man, um dieses blaue Glas zu erhalten, eine beträchtliche Menge von Niobsäure im Phosphorsalz auflösen muß, und daß daher eine Uebersättigung des Glases nötig ist. Auch Scheerer, der aus mehreren Mineralien pelophaltige Niobsäure ausgeschieden hat, macht hierauf aufmerksam ¹⁾). Wenn indessen Hr. Hermann auf keine Weise durch die von ihm aus dem Yttroilmenit dargestellte Säure ein blaues Phosphorsalzglas erhalten hat, so glaube ich dies einer anderen Ursach zuschreiben zu müssen. Bei der Darstellung des Pelopchlorids aus einem Gemenge von Pelopsäure und

1) Poggendorff's Annalen, Bd. 72, S. 564.

Kohle vermittelst Chlorgases erhält man stets, wie ich früher ausführlich bemerkt habe, ein Acichlorid, das durch Erhitzung Pelopsäure zurücklässt, welche Aehnlichkeit mit dem Niobchlorid hat, das sich aber von ihm durch die Flüchtigkeit unterscheidet. Man vermindert die Menge der auf diese Weise erzeugten Pelopsäure, wenn man vor das Ge- menge von Pelopsäure und Kohle eine lange Schicht von Kohle legt, und diese früher zum Glühen bringt, als jenes, so wie, dass man sorgfältig den Zutritt von atmosphärischer Luft bei der Darstellung des Chlorids abhält. Aber man vermeidet dadurch die Erzeugung der sich scheinbar verflüchtigenden Pelopsäure nie ganz, wohl aber vermindert man dieselbe beträchtlich. — Es ist nun möglich, dass Hr. Hermann eine solche Pelopsäure mit dem Löthrohre untersucht hat, und es ist dies um so wahrscheinlicher, da er durch die Ilmensäure eine bräunliche Färbung des Phosphorsalzes erhalten hat.

Hr. Hermann hat keine blaue, sondern nur eine braune Flüssigkeit erhalten, als er das Chlorid, in Salzsäure gelöst, mit Zink behandelte. Ist die Menge des Niobchlorids sehr gering, so erhält man in der That nur eine bräunliche Färbung; wohl aber eine bläuliche, wenn man statt der Chlorwasserstoffsäure Schwefelsäure nimmt. — Ich habe das aus dem Yttroilmenit erhaltene Niobchlorid in dieser, wie in so mancher andern Hinsicht mit dem aus den Columbiten dargestellten verglichen, und durchaus keinen Unterschied bemerkt. Auch das Verhalten gegen Schwefelsäure, und Galläpfeltinktur ist, wenn das Niobchlorid aus dem Yttroilmenit so viel wie möglich gereinigt ist, vollkommen gleich.

Hr. Hermann legt ein besonderes Gewicht darauf, dass das Atomgewicht der Niobsäure und Ilmensäure nach seinen Untersuchungen sehr verschieden ist. Ich habe noch keine quantitativen Untersuchungen über die Verbindungen des Niobs bekannt gemacht, bemerke aber, dass die von Hermann angegebene Zusammensetzung des Chlorilme- niums zwar von der des Chlorniobs, wie ich sie gefunden habe, abweicht, aber nicht sehr bedeutend; dass aber die

Zusammensetzung des Chlortantals, wie er sie angiebt, sehr verschieden von der ist, welche ich gefunden habe. Es scheint, dass Hr. Hermann ein Chlortantal analysirt hat, das viel Tantalsäure enthielt, wie man es erhält, wenn man bei seiner Erzeugung nicht eine starke Schicht Kohle vor das Gemenge von Tantalsäure und Kohle legt, oder die atmosphärische Luft nicht ganz absperrt. Befolgt man aber alle Vorsichtsmafsregeln, so erhält man ein Chlortantal, das vollständig in einer Atmosphäre von Chlorgas flüchtig ist, und keine Spur von Tantalsäure bei seiner Verflüchtigung hinterlässt. Ich mache übrigens darauf aufmerksam, dass das Chlortantal nicht mit dem Schwefeltantal, aus welchem Berzelius das Atomgewicht des Tantals abgeleitet hat, analog zusammengesetzt ist, worauf ich in späteren Abhandlungen zurückkommen werde.

Hr. Hermann findet es auffallend, dass bei meinen Untersuchungen über die Niobsäure aus dem Samarskit die Wolframsäure von derselben nicht durch Schwefelammonium vollständig zu trennen war. Ich habe hierüber schon bei einer andern Gelegenheit bemerkt, dass auch Zinnoxyd nicht vollständig von der Niobsäure und den ihr ähnlichen Säuren zu trennen ist, wenn kleine Mengen mit sehr grossen Quantitäten der letzteren gemengt sind, und die Digestion nicht lange fortgesetzt wird.

Endlich führt Hr. Hermann als Unterschied seines Yttroilménits von dem Samarskit die Resultate seiner Untersuchungen von ersterem Mineral und die des Hrn. v. Perez von letzterem an. Aber die beiden Analysen, die er vom Yttroilménit angiebt, weichen unter einander schon sehr ab; und ich glaube kaum, dass, um erst den Gang der Analyse bei einer Substanz, die so seltene und schwer von einander zu trennende Bestandtheile enthält, zu bestimmen, er eine so lange Reihe von Versuchen angestellt hat, wie sie in meinem Laboratorium durch die Hrn. W ornum und Brooks, und endlich durch Hrn. v. Perez unternommen worden sind.

Dass der Samarskit in seiner Zusammensetzung bisweilen etwas abweicht, will ich gern zugeben, da ich oft aus

diesem Minerale eine Niobsäure erhielt, welche ganz frei von Pelopsäure war. Aber ich glaube, dass die Resultate von Hermann's Analysen des Yttroilmenits, namentlich hinsichtlich des Gehalts von Uranoxyd und Yttererde, nicht richtig seyn können. Titansäure habe ich nie im Samarskit finden können, selbst nicht in den Stücken, die Hr. Hermann als Yttroilmenit an meinen Bruder gesandt hat, auch nicht Ceroxyd, obgleich die erhaltene Yttererde darauf untersucht wurde.

Ich habe diese neuen Versuche nur darum so erschöpfend beschrieben, damit ich nun nicht mehr auf diesen Gegenstand zurückzukommen brauche, und ich bin fest überzeugt, dass Hr. Hermann selbst bei sorgfältiger Prüfung die Richtigkeit meiner Ansicht anerkennen wird.

IX. Erscheinungen beim Schmelzen von Gebirgsarten.

Hr. Delesse hat verschiedene krystallinische Gebirgsarten der Schmelzung unterworfen und dabei gefunden, dass die daraus in der Regel entstehenden Gläser von geringerem spec. Gewichte sind. Die Verringerung beträgt nach ihm, in Procenten, bei

Graniten, quarzigen Porphyren und granitoïdischen Felsarten	9 bis 11
syenitischen Graniten, Syeniten etc.	8 — 9
Porphyren, rothen, braunen und grünen, mit und ohne Quarz, aber mit Grundmasse von Albit, Oligoklas, Andesit	8 — 10
Dioriten und dioritischen Porphyren etc.	6 — 8
Melaphyren	6 — 7
Trachyten	4 — 5
alten vulkanischen Felsarten, Basalten etc.	3 — 4
neuen vulkanischen Felsarten, Laven etc.	0 — 3

„Wenn Felsarten, sagt er, „aus dem krystallinischen Zustand in den glasigen übergehen, so erleiden sie eine Dichtigkeitsverringerung, die, unter sonst gleichen Umständen, desto grösser ist, je mehr Kieselerde und Alkali sie enthalten, und desto kleiner, je mehr Eiseenoxyd, Kalk und Thonerde darin ist. (Compt. rend., T. XXV, p. 545.)

X. Nachträgliche Bemerkungen zu dem Aufsatze „Ueber die quantitative Bestimmung der Aschenbestandtheile etc.“¹⁾; von W. Heintz.

In dem in der Ueberschrift genannten Aufsatze habe ich nachgewiesen, dass es nicht möglich ist, diejenige Menge Kohlensäure, welche den in einer organischen Substanz enthaltenen Salzen fixer Basen mit organischen Säuren entspricht, direct zu bestimmen. Abgesehen davon, dass man Gefahr läuft, die beim Verkohlen derselben möglicherweise gebildeten Cyanmetalle oder cyansauren Salze, indem man die Kohlensäure austreibt, gleichfalls zu zersetzen, und somit jene Säuren, deren Atomgewicht von dem dieser nicht unbedeutend verschieden ist, als Kohlensäure in Rechnung zu ziehen, habe ich gezeigt, dass einmal die Kohlensäure nicht bestimmt werden kann, ohne dass vorher der verkohlten Masse eine gewisse Menge dieser Säure, welche bei der Verkohlung verloren geht, restituirt wird, und dass ferner, wenn in der Asche einer organischen Substanz mehr phosphorsaures Alkali vorhanden ist, als nöthig ist, um mit dem darin vorhandenen kohlensauren Alkali das dreibasische phosphorsaure Salz zu bilden, stets das Gewicht der Kohlensäure zu gross gefunden wird, weil, wenn Kohlensäure zu der verkohlten, mit Wasser angerührten Masse geleitet wird, das pyrophosphorsaure Alkali zum Theil in saures pyrophosphorsaures und kohlensaures Salz zerlegt wird.

Deshalb schlug ich eine andere Methode der Bestimmung der Kohlensäure vor, von der ich glaubte, dass sie genauere Resultate liefern müfste, obgleich ich mich schon damals durch Versuche überzeugte, dass auch sie nicht den strengsten Anforderungen genügt. Diese Methode besteht darin, dass man eine Portion der organischen Substanz verkohlt, und den wässrigen Auszug dieser Kohle zur Bestimmung des Chlors benutzt, eine andere Portion der

1) Diese Annalen, Bd. 72, S. 113.

selben aber nach der Verkohlung mit Salzsäure auszieht, den salzauren Auszug mit der Asche der Kohle vermischt, und den Chlorgehalt der zur Trockne abgedampften Lösung, nachdem der Rückstand bis zur Verkohlungstemperatur erhitzt worden ist, bestimmt. Die Differenz der auf Procente der organischen Substanz berechneten Chlormengen sollte, nach meiner Angabe, derjenigen Kohlensäuremenge aequivalent seyn, durch welche sich wiederum auf die procentische Menge der Salze fixer Basen mit organischen Säuren in der Substanz schliesen lässt.

Einige Untersuchungen von Pflanzenaschen, welche theils von mir selbst, theils unter meiner Leitung in meinem Laboratorium nach der in dem oben citirten Aufsatze angegebenen Methode ausgeführt worden sind, haben mir jedoch gelehrt, dass jene Kohlensäurebestimmung noch anderen Fehlern unterworfen seyn müsse, als dem, welchen ich schon in jener Abhandlung erwähnt habe. Bei einer Analyse der Asche des Rapssamens fand ich nämlich folgende Zahlen:

Kohlensäure	6,70	Proc.
Kieselsäure	0,62	-
Sand	2,18	-
Eisenoxyd	2,65	-
Kalkeerde	14,44	-
Talkerde	9,83	-
Phosphorsäure	42,83	-
Kali	19,33	-
Natron	0,85	-
	99,43.	

Nimmt man an, dass die Phosphorsäure zunächst an Kalkeerde und Magnesia, und der Rest derselben an Kali gebunden in der Asche enthalten ist, so lässt sich aus obigen Zahlen folgende Zusammensetzung derselben berechnen:

Phosphorsaure Kalkerde (P ³ Ca ⁸)	28,23
Phosphorsaure Talkerde (P Mg ²)	26,83
Phosphorsaures Kali (P K ²)	27,95
Kohlensaures Kali	5,02
Kohlensaures Natron	1,45
Eisenoxyd	2,65
Kieselsäure	0,62
Sand	2,18
Kohlensäure	4,50
	99,43.

Demnach hat der Versuch 4,50 Proc. Kohlensäure mehr ergeben, als er nach dieser Rechnung hätte ergeben müssen; und selbst wenn man annehmen wollte, das Eisenoxyd sey in dem Rapssamen als phosphorsaures Salz, und nicht als Oxyd oder als integrirender Bestandtheil einer organischen Verbindung, was am wahrscheinlichsten ist, enthalten gewesen, so würde der Ueberschuss an Kohlensäure immer noch 2,31 Proc. betragen.

Dieser grosse Ueberschuss an dieser Säure weist darauf hin, daß außer dem schon in meinem früheren Aufsatze erwähnten Fehler diese Methode noch einem anderen unterworfen seyn müsse.

Die Angabe von Berzelius ¹⁾), daß die phosphorsaure Kalkerde, welche auf einem Atom der Säure zwei Atome der Basis enthält, wenn sie mit einer Lösung von Chlorcalcium gemengt und destillirt wird, Chlorwasserstoffäsäure austreibt und basische phosphorsaure Kalkerde bildet, veranlaßte mich zu dem Schluss, daß dies auch bei Aschenbestimmungen stattfinden müsse, daß also, wenn die basische phosphorsaure Kakerde, welche in der verkohlten Masse enthalten ist, durch Salzsäure aufgelöst, und also in Chlorcalcium und saure phosphorsaure Kakerde zersetzt wird, beim Abdampfen dieser Lösung zur Trockne nicht allein die freie Salzsäure ausgetrieben, sondern auch das

1) Berzelius Lehrbuch. 4. Auflage. Bd. 4, S. 275.

gebildete Chlorcalcium wieder vollständig zersetzt werden müsse.

Dies ist jedoch nicht der Fall. Wenn man nämlich reine basische phosphorsaure Kalkerde (P_3C_8 , nach Berzelius) in Salzsäure auflöst, die Lösung zur Trockne bringt und den Rückstand bis zur Verkohlungstemperatur erhitzt, so enthält die rückständige Masse eine grosse Menge Chlor, welches durch salpetersaures Silberoxyd leicht nachgewiesen werden kann. Hierin liegt offenbar der Grund, weshalb bei der oben erwähnten Analyse ein so bedeutender Ueberschuss an Kohlensäure gefunden worden ist.

Zwei andere Analysen der Aschen des Rapsstrohs und des Erbsenstrohs, welche unter meiner Leitung von Hrn. Baer in meinem Laboratorium ausgeführt worden sind, weisen noch auf einen anderen Fehler jener Kohlensäurebestimmung hin, welcher jedoch wohl nur bei Pflanzenaschen vorkommen kann.

Dieser fand nämlich folgende Zahlen:

	Rapsstroh.	Erbsenstroh.
Kali	23,65	7,30
Kalk	15,79	27,39
Magnesia	4,95	9,69
Eisenoxyd	0,67	1,24
Phosphorsäure	4,70	3,54
Kieselsäure	0,92	2,48
Schwefelsäure	5,70	6,24
Chlorkalium	8,77	17,10
Kohlensäure	19,70	24,20
Chlornatrium	14,55	—
Natron	—	0,27
Sand	—	0,09
	99,40	99,54.

Berechnet man nach diesen Zahlen die Menge der einzelnen Salze, welche in der organischen Substanz enthalten seyn müssten, so erhält man folgende Resultate:

	Rapsstroh.	Erbsenstroh.
Phosphorsaure Kalkerde	9,62	7,25
Schwefelsaure Kalkerde	9,69	10,61
Chlorkalium	8,77	17,10
Chlornatrium	14,55	—
Kohlensaure Kalkerde	12,28	34,48
Kohlensaure Talkerde	6,31	10,52
Kohlensaures Kali	34,69	10,71
Kohlensaures Natron	—	0,46
Eisenoxyd	0,67	1,24
Kieselsäure	0,92	2,48
Reine Magnesia	1,90	4,60
Sand	—	0,09
	99,40	99,54.

Aus den Resultaten dieser Analysen ersieht man, dass in der Kohle des Rapsstrohs und Erbsenstrohs nicht allein kohlensaures Alkali, sondern auch kohlensaure Kalkerde und kohlensaure Talkerde enthalten ist. In dem salzsauren Auszuge derselben muss also Chlorcalcium und Chlormagnesium enthalten seyn, von denen namentlich letzteres, besonders bei Luftzutritt, in der Glühhitze eine Zersetzung erleidet, indem es Chlor verliert. Da aus dem Chlorgehalt des zur Trockne abgedampften und geglühten salzsauren Auszugs auf die Kohlensäuremenge geschlossen wird, welche den organisch sauren Salzen der organischen Substanz entspricht, so ist die Zersetzung des darin enthaltenen Chlormagnesiums der Grund, weshalb die bei jenen Analysen gefundene Menge Kohlensäure geringer ausgefallen ist, als die Rechnung verlangt. Je mehr also kohlensaure Magnesia in einer Asche enthalten ist, um so gröfser muss die Differenz zwischen der gefundenen und berechneten Kohlensäuremenge seyn. Dies bestätigen die beiden vorerwähnten Analysen auf's Deutlichste.

Aus diesen Gründen kann die von mir angegebene Methode zur Bestimmung der Menge der organisch sauren Salze einer organischen Substanz eben so wenig, wie irgend eine

andere bisher angewendete auf hinreichende Genauigkeit Anspruch machen. Aus meinen Versuchen folgt aber zugleich, dass nach unseren bisherigen Kenntnissen keine in allen Fällen genügende directe Methode dafür sich auffinden lässt. Es bleibt nichts übrig, als dieselbe aus derjenigen Quantität Basis zu berechnen, welche, nachdem man die gefundenen Säuren an die gefundenen Basen nach ihrer Sättigungscapacität vertheilt hat, unverbunden zurückbleibt.

Freilich würde die Gegenwart einer grösseren Menge Eisen auch diese Berechnung unsicher machen, da man in den meisten Fällen nicht weiß, ob dasselbe in Form eines Salzes, oder als einer organischen Verbindung angehörig in der organischen Substanz vorhanden ist.

Auch die Gegenwart von phosphorsauren Salzen kann die Zuverlässigkeit derselben verringern. Denn es sind nur Hypothesen, wenn auch sehr wahrscheinliche, dass die phosphorsauren Alkalosalze und die phosphorsaure Magnesia in den organischen Körpern stets in Form derer sich vorseinden, welche auf ein Atom der Säure zwei Atome der Basis enthalten, und dass die phosphorsaure Kalkerde in ihnen stets nach der Formel $P^3 Ca^8$ zusammengesetzt sey.

Was nun im Uebrigen die von mir angegebene Methode der Analyse der Aschenbestandtheile organischer Körper betrifft, so bleibt dieselbe trotz dieser neuen Versuche ganz bestehen. Man könnte vielleicht die Bestimmung des Chlors in dem salzauren Auszuge der verkohlten Masse unterlassen; allein es ist besser, auch diese Bestimmung auszuführen, weil man dadurch eine Controle der Genauigkeit der Analyse erhält, welche sonst verloren gehen würde, und weil ohne dies die gauze Menge der feuerbeständigen Bestandtheile sich nicht bestimmen lassen würde.

Man thut am besten, die Quantität der feuerbeständigen Bestandtheile organischer Substanzen auf die Weise zu bestimmen, dass man den salzauren Auszug der Kohle, mit der Asche derselben gemengt, abdampft, den bis zur Verkohlungstemperatur erhitzten Rückstand wägt, und davon die Differenz der beiden Quantitäten Chlor abzieht,

welche einmal in diesem Rückstande, das andere Mal in dem wässrigen Auszuge der Kohle einer gleichen Menge organischer Substanzen gefunden worden sind, und eine derselben aequivalente Menge Sauerstoff dazutritt.

Wenn man dann die gefundenen Basen und Säuren in Form der Salze berechnet, als welche sie in der organischen Substanz enthalten gewesen seyn mussten, so wird so viel Basis unverbunden übrig bleiben, als in derselben vor der Verkohlung an organische Säuren gebunden gedacht werden muss.

In einem Aufsatze »über die Bestimmung der Magnesia durch phosphorsaures Natron etc.«¹⁾ in welchem meine Angabe, wonach die pyrophosphorsaure Magnesia in ammonikalischem Wasser nicht unlöslich ist, bestätigt wird, weist Weber nach, dass durch blosses Erhitzen mit Säuren die Pyrophosphorsäure nur unvollständig in die gewöhnliche Modification umgewandelt wird, dass aber durch Behandeln derselben mit *concentrirter* Schwefelsäure dieser Zweck möglichst annähernd erreicht wird. Da nun die Phosphorsäure, nach der von mir angegebenen Methode, sie zu bestimmen, mit Schwefelsäure aus ihrer Verbindung mit Bleioxyd abgeschieden werden muss, so werden die nach derselben erhaltenen Resultate der Wahrheit möglichst nahe kommen, wenn man sich dazu der *concentrirten* Säure bedient. Wenn man aber ganz sicher gehen will, so thut man am besten, die aus dem Bleisalze abgeschiedene Säure, welche noch mit Salpetersäure und Schwefelsäure gemischt ist, von ersterer durch Abdampfen zu befreien, den Rückstand mit kohlensaurem Natron stark zu übersättigen und zu schmelzen. Aus der wieder aufgelösten Masse kann dann die Phosphorsäure, nachdem die Flüssigkeit mit Salzsäure sauer gemacht worden ist, mit Ammoniak und schwefelsaurer Magnesia vollständig gefällt werden.

1) Diese Annalen, Bd. 73, S. 137. Zu der Vermuthung des Hrn. Weber, a. a. O. S. 145, ich möchte auch bei den in Rede stehenden Versuchen die Schmelzung über einem Spiritusgebläse ausgeführt haben, bemerke ich, dass er sich darin nicht geirrt hat, und dass daher meins Versuchs in den seinigen Bestätigung finden, und umgekehrt.

**XI. Untersuchung über die Interferenzen der Wärmestrahlen;
von den HH. H. Fizeau und L. Foucault.**

(*Compt. rend.*, T. XXV, p. 447.)

Die Versuche, welche Gegenstand dieser Abhandlung ausmachen, haben den Zweck, zu ermitteln, ob die Wärmestrahlen, gleich den Lichtstrahlen, die Eigenschaft des Interferirens oder gegenseitigen Einwirkens besitzen, so dass sie einander, je nach den Umständen, verstärken oder vernichten.

Das angewandte Beobachtungsverfahren besteht in dem Studium der Wärmevertheilung bei verschiedenen Erscheinungen, welche durch die Interferenz von Lichtstrahlen veranlaßt werden. Die unter diesen Umständen entstehenden Fransen sind ihrer Natur nach wenig intensiv und von geringer Ausdehnung; man mußte also zu sehr feinen thermoskopischen Mitteln seine Zuflucht nehmen.

Wir haben zu diesem Studium Weingeistthermometer angewandt, denen man sehr kleine Dimensionen und zugleich eine große Empfindlichkeit geben kann. Sie wurden abgelesen mittelst eines Mikroskops, das im Ocularstück mit einer Theilung versehen war.

Das beste Thermometer, welches wir uns zu diesen Untersuchungen verschaffen konnten, hat einen kugelförmigen Behälter von nicht über $1^{m\cdot m}\cdot 1$ Durchnesser, und dennoch hat ein Centesimalgrad eine Länge von 8 Millimeter auf dem Stiel. In dem Ocularstück des Mikroskops war ein in Zehntel-Millimeter getheiltes Mikrometer angebracht, und so konnte man sich versichern, dass jede von der Weingeistsäule durchlaufene Abtheilung $\frac{1}{10}$ Grad entsprach.

Das Instrument war in eine genau verschlossene Hülle gebracht, um es gegen Luftzug und plötzliche Temperaturänderungen zu schützen. Mehrere durch Fenster verschlossene Öffnungen erlaubten die zum Versuch bestimmten

Strahlen einzulassen und die Weingeistsäule mit dem außerhalb angebrachten Mikroskop zu beobachten. Eine besondere Vorkehrung erlaubte überdies sich der Lage des Thermometers inmitten der Lichtfransen genau zu versichern.

Successive Beobachtungen an sehr dicht zusammenliegenden Punkten ließen die Wärmevertheilung erkennen. Für jeden Punkt war die Beobachtung eine doppelte, eine bei Zulassung der Strahlen, die andere bei Abhaltung derselben. Das Mittel aus beiden Ablesungen gab die Temperaturerhöhung aus der Wirkung der Strahlen. Die Temperaturveränderungen der Hülle waren immer langsam und regelmässig; ihr Einfluss war also vernichtet.

Auf diese Weise studirten wir die Wärmevertheilung bei den Hauptphänomenen, wo Interferenzen von Lichtstrahlen auftreten. Nach einigen Versuchen erkannten wir, dass, ungeachtet der Empfindlichkeit unserer thermometrischen Mittel, dies Studium nicht anders als mit Anwendung von Sonnenstrahlen möglich war, indem alle übrigen Licht- und Wärmequellen viel zu schwach sind.

1) *Fransen erzeugt mittelst zwei gegen einander geneigten Spiegel.* — Als wir diese Fransen von so grossen Dimensionen erzeugten, dass der Behälter des Thermometers nur ein Viertel einer hellen Franse einnahm, erhielten wir unzweifelhafte Anzeichen von Interferenz in der Nähe der mittleren weissen Franse. Bei einer in der Abhandlung angegebenen Beobachtung, fanden wir für die Temperaturerhöhung folgende Zahlen, ausgedrückt in Abtheilungen des Mikrometers: 20,9; 35,9; 20,0. Die höchste Zahl entspricht der mittlichen Franse, und die beiden kleineren der ersten dunklen Franse, welche jene zur Rechten und Linken begrenzen.

Die Versuche wurden mehrfältig abgeändert, und alle bewiesen übereinstimmend, dass es bei dieser Erscheinung Wärmefransen giebt von ähnlichen Dimensionen wie die Lichtfransen.

2) *Spectra mit hellen und dunklen Streifen, erhalten durch prismatische Zerlegung der Interferenzphänomene, welche im*

polarisirten Licht durch Krystallplatten erzeugt werden. — Bildet man aus dem Licht, welches durch combinirtem Einflus der Polarisation und Doppelbrechung modifizirt worden ist, ein Spectrum, unter Umständen, wo bei kleinen Dicken des doppelbrechenden Körpers sich die Farben der Krystallblättchen zeigen würden, so ist dasselbe ein discontinuirliches, gebildet aus abwechselnd hellen und dunklen Fransen, die aus der Interferenz der beiden durch die Doppelbrechung der Krystallplatte erzeugten Strahlen entstehen.

Dieser Versuch ist in einer früheren Arbeit über die Interferenzphänomene im Falle großer Gangunterschiede umständlich beschrieben¹⁾). Wir erinnern nur, dass es unter diesen Umständen, obwohl die Beobachtung gleichzeitig mit Strahlen von allen Farben geschieht, sich eben so verhält, wie wenn man bei einfachem Lichte beobachtete, denn die Effecte der Interferenz sind für jeden einfachen Strahl deutlich und gesondert.

Die Untersuchung der Wärmevertheilung in diesen Spectris bot ein besonderes Interesse dar, vor allem weil es möglich war, unter dem Gesichtspunkte der Interferenzen die dunklen Wärmestrahlen zu studiren, welche Herschel jenseits des rothen Endes des sichtbaren Spectrums entdeckt hat.

Für den Fall einer Gypsplatte von 0^{mm},83 Dicke wollen wir das Detail der Resultate beibringen. Eine Platte von dieser Dicke erzeugt im Spectrum acht dunkle Streifen. Die hellen Streifen dazwischen hatten eine solche Breite, dass das Thermometer ein Sechstel von dem im Gelb liegenden Streifen einnahm. Für den Theil des Wärmespectrums, der aus den jenseits des Roths liegenden undurchsichtigen Strahlen gebildet war, ward die Lage des Thermometers bei jeder Beobachtung bestimmt und auf das sichtbare Spectrum bezogen.

Aus diesem Studium geht hervor, dass in dem sichtbaren Spectrum acht dunkle und acht helle Streifen liegen.

1) Diese Annalen, Ergänzbd. II., S. 355.

ren Spectrum die Wärme wie das Licht vertheilt ist, daß die Mitte der hellen Streifen ein Maximum, und die Mitte der dunklen ein Minimum der Wärme darbietet. In der Gegend des unsichtbaren Spectrums ist die Vertheilung analog; man bestimmte die Lage von vier nicht warmen Streifen, getrennt durch Wärmestreifen.

Um von diesen in der Gegend der unsichtbaren Wärme aufgefundenen Interferenzstreifen die in dieser Gegend von J. Herschel nachgewiesenen Intensitätsungleichheiten zu unterscheiden, that man dar, daß sie verschwanden, wenn man den Hauptschnitt der Gypsplatte um 45° drehte. Wir haben nämlich gefunden, daß diese Intensität auf eine sehr unregelmäßige Weise variiert. Bei einem Abstand vom Strich *A*, gleich dem, der diesen Strich vom Strich *D* trennt, haben wir einen sehr breiten Strich angetroffen, worin keine merkliche Wärme vorhanden ist.

Dreht man eine der Polarisationsebenen um 90° , so entsteht ein zum vorigen complementares Spectrum, welches auf dieselbe Weise studirt wurde. Die Wärmestreifen sind alsdann ersetzt durch nicht-wärmende Streifen und umgekehrt.

Ersetzt man die Gypsplatte durch eine gegen die Axe senkrechte Bergkrystallplatte, so kann man in dem Spectrum die Drehungen bemerken, welche die Polarisationsebenen der Farben seitens dieses Krystals erlitten haben. Das Phänomen besteht in ähnlichen Streifen wie die früheren; auch ist die Wärmevertheilung ähnlich.

Fügt man zu den Modificationen, welche die Strahlen unter den eben angeführten Umständen erleiden, noch die, welche aus totaler Reflexion im Fresnel'schen Parallelepiped entspringen, so erzeugt man mannigfaltige Interferenzphänomene, die sich im Spectrum immer unter verschiedenartig gelagerten Streifen zu erkennen geben. Die Wärmevertheilung folgt allen diesen Veränderungen.

So findet man immer 1) daß die Interferenzstreifen sich allemal in der ganzen Ausdehnung des Wärmespectrums zeigen, wenn sie im Lichtspectrum vorhanden sind, und

2) das in der ganzen Ausdehnung des Lichtspectrums die Lichtstreifen mit den Wärmestreifen zusammenfallen.

3) *Diffraction, erzeugt durch einen einzigen geradlinigen Rand.* — Wir haben überdies den einfachsten Fall der Lichtbeugung studirt, denjenigen, wo man Fransen durch den geradlinigen Rand eines Schirms erzeugt. Da dies Phänomen nothwendig sehr schwach ist, so bot sein Studium grosse Schwierigkeiten dar. Indes erhielten wir interessante Resultate, indem wir Fransen von solchen Dimensionen erzeugten, dass die Hälfte des Raums zwischen der ersten und zweiten dunklen Franse, wie man sie in rothem Lichte sieht, vom Thermometer eingenommen ward. Die Lage der geometrischen Gränze des Schattens wurde durch ein besonderes Verfahren ermittelt.

Wenn man das anfangs im Innern des Schattens liegende Thermometer allmälig in den erhellten Theil führt, so bemerkt man, dass es zu steigen anfängt, bevor es die geometrische Gränze des Schattens erreicht. Es fährt fort rasch zu steigen, wenn es in die erste helle Franse kommt, und erreicht ein Maximum gegen den Rand dieser Franse, welcher der ersten dunkeln Franse zugewandt ist; darauf fällt es stetig, in dem Maasse als es weiter in den hellen Raum eindringt, um bald einen stationären Zustand zu erreichen. Es ist also in dem von der ersten hellen Franse eingenommenen Raum eine Wärme-Diffractionsfranse vorhanden, in welcher die Temperatur höher ist als in den Punkten, zu denen die Strahlen direct, unmodificirt durch den Schirm, gelangen.

Die Wärme-Diffractionsfransen sind nicht so stark ausgeprägt, wie die optischen, und man kann sie nicht so leicht unterscheiden, wenn man sie auf einen weißen Hintergrund bringt, da sie sich auf demselben nicht deutlich abheben. Sie sind aber sehr leicht zu erkennen, wenn man sie auf einem dunklen Hintergrund bringt, da sie sich dann sehr deutlich abheben. Sie sind auch sehr leicht zu erkennen, wenn man sie auf einem hellen Hintergrund bringt, da sie sich dann sehr deutlich abheben.

**XII. Ueber die Theorie des Thaus;
von Hrn. Melloni.**

(Aus einem Briefe von Hrn. Arago. *Compt. rend.*, T. XXV, p. 499.)

Meine Studien des Thaus haben außer Zweifel gesetzt¹⁾, dass wenn auch das Wells'sche Princip richtig ist, doch die Theorie, welche denselben Namen führt, unrichtig oder wenigstens unvollständig ist. Ich glaube den Satz deutlich genug ausgesprochen (*formulé*) zu haben, um zu keinem Missverständniß Anlaß zu geben; allein beim Lesen verschiedener periodischer Blätter ist mir vorgekommen, dass man ihn völlig entstellt hat. In der That, die Herausgeber dieser Blätter, sich stützend vielleicht auf die Meinung Desjenigen von ihnen, der zuerst Bericht darüber erstattete, führen nur den ersten Theil meines Theorems an, und übergehen den zweiten mit Stillschweigen. Der Leser wird sonach zu dem Glauben verleitet, dass meine Arbeit alleinig bezwecke die Theorie von Wells zu bestätigen, wie man sie in allen Lehrbüchern der Physik und Meteorologie entwickelt findet; und gerade der entgegengesetzte Schluss ist es, zu dem meine Versuche führen. Ich will versuchen, dieses besser begreiflich zu machen, indem ich von den Daten selbst ausgehe, die dieser Theorie zur Grundlage dienen.

Denken wir uns zwei Paare von Thermometern eingeschlossen in ihre Metallhülle und aufgehängt mittelst Drähte oder metallener Stützen nach der in meinem ersten Briefe beschriebenen Methode. Nehmen wir an, jedes dieser Paare bestehe aus einem Thermometer mit blanker Hülle und einem mit geschwärzter. Nehmen wir endlich an, man befsteige, in einer stillen und heiteren Nacht, das eine Paar dicht über dem Grase einer offenen Wiese, und das andere in einer Höhe von 4 bis 5 Fuß, so, dass die beiden Thermometer eines jeden Paars sich in gleichem Niveau befinden.

1) S. Annalen, Bd 71, S. 416 und 424.

Nachdem die Thermometer einige Augenblicke gelegen haben, wird man die geschrärzten etwa $1^{\circ},5$ unter die blanken neben ihnen fallen sehen. Dennoch giebt das untere Paar ganz andere Temperaturen als das obere. Bei windstillem und heiterem Wetter erreicht der Unterschied zuweilen 5 bis 6 Grad; und da das untere Paar stets die niedrigsten Angaben liefert, so folgern wir daraus, dass die beobachteten Unterschiede zwischen den Anzeigen beider Instrumentenpaare alleinig herrühren von den verschiedenen Temperaturen der Luftsichten, in welche sie eingetaucht sind, und dass folglich in windstillem und heiteren Nächten die Temperatur der Luft mit Annäherung an den Boden rasch abnimmt.

Nun besteht der Versuch, auf welchem die Wells'sche Theorie beruht, in der oftmals wiederholten Beobachtung, dass ein gewöhnliches Thermometer, auf Gras gelegt, viel niedriger steht als ein 4 bis 5 Fuß über dem Boden angebrachtes; und daraus hat man geschlossen, das Gras erkalte sich durch Strahlung gegen den Himmel um mehrere Grade. Allein man kann sich leicht überzeugen, dass diese Folgerung keineswegs erlaubt ist! In der That legen Sie eins ihrer Thermometer mit nackter Glasfläche auf das Gras und halten das andere frei in der Luft in gleichem Abstand vom Boden, so werden Sie beide Instrumente dieselbe Temperatur angeben sehen. Niemand würde aber läugnen, dass man nach der alten Methode so verfahren müfste, um zu beweisen, dass das Gras sich unter das umgebende Mittel erkalte. Man ist also genöthigt einzuräumen, dass die Fundamentadata der Wells'schen Theorie unbeweisend sind, 1) weil die Oberfläche der angewandten Thermometer so gut ausstrahlte wie die Blätter des Grases, und 2) weil das zur Messung der Lufttemperatur bestimmte Thermometer sich in einer atmosphärischen Schicht befand, die wärmer war als die, welche das mit dem anderen Thermometer in Berührung stehende Gras umgibt.

Der Satz von der Fällung des Thaus vermöge der durch Ausstrahlung der Körper entstehenden Kälte ist, ich wie-

derhole es, vollkommen richtig, aber die Wells'sche Theorie ist falsch. Die Ursache dieser Unrichtigkeit entspringt offenbar daraus, dass man bei der Erzeugung der Kälte, die sich successive dicht am Erdboden entwickelt, den Einfluss der Luft gänzlich vernachlässigt hat. Man hat wohl ziemlich unbestimmt gesagt, dass die ausstrahlenden Körper, die sich in einer gewissen Höhe befinden, ihre Temperatur nicht so stark erniedrigen könnten als die dicht am Boden befindlichen, weil sich um die ersteren herum niedersteigende Ströme bilden, welche bei den anderen nicht vorhanden seyen; aber dies war unzulänglich, um die wahre Rolle der Luft bei der Thaubildung zu erweisen.

Man müste zeigen, wie ich es glaube zuerst gethan zu haben, dass die dicht am Boden befindliche Luft, trotz ihrer Unfähigkeit sich durch Strahlung zu erkalten, mächtig zur Temperaturerniedrigung der von ihnen umhüllten Pflanzen beiträgt, mittelst einer Reihe von Actionen und Reactio-
nen, deren Ursache und Wirkungen, irre ich mich nicht, klar in meinem zweiten Briefe auseinandergesetzt sind ^{1).}

XIII. Ueber das Gefrieren des Quecksilbers und dessen latente Schmelzwärme;
von Hrn. C. C. Person.

(*Comptes rendu, T. XXV, p. 334.*)

Nachdem ich die latente Schmelzwärme des Bleis, Zinns, Wismuths und Zinks gemessen hatte ²⁾, nahm ich mir vor, auch die des Quecksilbers zu bestimmen. Um etwas bedeutende Massen desselben zum Gefrieren zu bringen, bediente ich mich dünner Metallgefäße, die einander einschlossen und zwischen sich leere Räume ließen, was ein vor-

1) *Annalen, Bd. 71, S. 424.*

2) *Annalen, Bd. 70, S. 300.*

treffliches Mittel zur Verhütung der Erwärmung ist. In diesem Apparat bringen 400 Grm. Chlorcalcium und 300 Grm. Schnee leicht 700 Grm. Quecksilber zum Gefrieren, wenn das Wetter trocken und die Temperatur Null ist. Bekanntlich muss das Chlorealcium als feines und trocknes Pulver angewandt werden, aber doch all sein Krystallwasser enthalten. Um es, ohne schwieriges Pülvern, in diesem Zustand zu erhalten, bestimmte ich den Siedpunkt einer Lösung dieses Salzes im Moment, da das darin enthaltene Wasser sich genau auf das Krystallwasser reducirt. Dieser Punkt liegt bei 129° C. Dann ließ ich sie erkalten und im Moment, da die Krystallisation begann, was bei 89° C. geschieht, schüttelte ich das Ganze bis Alles erstarrt war. Auf diese Weise erhält man ein trocknes und sehr feines Pulver. Es ist auch wesentlich, dass der Schnee vollkommen trocken sey. Dies erlangt man, indem man ihn in ein mit Kältemischung umgebenes Gefäß bringt und darin ab und zu schüttelt; er zerfällt dann zu einem feinen Pulver, das wie Sand aus einem Sandfass fließt.

Die grösste Kälte, welche ich mit Chlorcalcium erhalten habe, beträgt $-48^{\circ},5$ C. Um diese Temperatur wohl zu charakterisiren, muss ich sagen, dass ich mich eines mit fast absolutem Alkohol gefüllten Thermometers bediente, das in einem Gemenge von Chlornatrium und Eis $-20^{\circ},3$ C. angab, während ein Quecksilberthermometer darin $-21^{\circ},3$ C. zeigte. Es ist die höchste Kälte, die man mit diesem Gemenge erreichen kann.

Das Quecksilber befand sich in einer cylindrischen Flasche von jenem sehr dünnen Messing, welches man in Frankreich *cuirre gratté* nennt. Die Flasche war in einem Besteck enthalten, das mitten in dem Kältegemisch stand. Zur Gefrierung von 700 Grm. Quecksilber waren 40 bis 50 Minuten erforderlich.

Sey v das Wasser-Aequivalent des als Calorimeter dienenden Gefäßes; darin den Umrührer und das Thermometer mit begriffen; P das Gewicht der angewandten Flüssigkeit, C deren specifische Wärme; T , T' die Temperaturen

zu Anfang und Ende; a die ihr während des Versuchs von außerhalb zukommende Temperatur; m das Gewicht des Quecksilbers; t , t' dessen Temperaturen zu Anfang und Ende; μ das Aequivalent des Gefäßes, worin es enthalten; c seine specifische Wärme, welche für den starren Zustand dieselbe ist wie für den flüssigen; endlich l seine latente Wärme, so hat man:

$$l = \frac{(PC + \nu)(T - T') + a}{m} - \left(c + \frac{\mu}{m} \right) (t' - t).$$

Es wurden zwei Flüssigkeiten angewandt, Wasser und Terpenthinöl. Folgendes sind die Resultate dreier Versuche, wobei $\nu = 16,7$ und $\mu = 2$:

P.	C.	T.	T'	a.	m.	t.	t'	L.
971,4	0,420	7,089	2,066	0	478,6	-43	2,0	2,77
971,8	0,420	7,815	0,590	91	705,0	-44	0,6	2,86
1131,9	1,000	6,897	4,074	3	704,7	-45	4,0	2,83

Wie man sieht herrscht ein vollständiger Einklang zwischen den drei Werthen von l , dessen Mittel 2,82 ist. Um also 1 Kilogr. Quecksilber zu schmelzen, bedarf es nicht ganz so viel Wärme als um 1 Kilogr. Wasser drei Grad zu erhöhen. Man muss bemerken, dass das Verhältniss der latenten Wärmemengen des Wassers und des Quicksilbers fast dasselbe ist wie das der specifischen Wärmemengen, so dass, für Quecksilber wie für Wasser, die zur Schmelzung nötige Wärme fast das 80fache von der ist, welche die Temperatur der Flüssigkeit um einen Grad ändert.

Bei einer anderen Gelegenheit habe ich bemerkt, dass die zum Schmelzen der Metalle erforderlichen Wärmemengen die Ordnung der Zähigkeit befolgen, so dass das Blei, welches unter denen, die ich bisher untersuchen konnte, das wenigst zähe ist, auch die kleinste Wärmemenge zum Schmelzen erfordert. Da nun 2,82 Wärmeeinheiten zum Schmelzen von 1 Kilogr. Quecksilber nötig sind, während es 5,15 für 1 Kilogr. Blei bedarf, und überdies die Atomgewichte und die Dichtigkeiten beider fast gleich sind, so folgt, dass die Cohäsion des starren Quecksilbers wahrscheinlich noch geringer ist als die des Bleis.

XIV. Ueber die anomale specifische Wärme gewisser Legirungen und deren freiwillige Erwärmung nach dem Gestehen;
von Hrn. C. C. Person.

(*Compt. rend.*, T. XXV, p. 444. (Auszug vom Verfasser.)

Für die gegen 100° C. schmelzbaren Legirungen hat Hr. Regnault eine bedeutend grösere specifische Wärme gefunden als das Mittel der der darin enthaltenen Metalle, und er hatte sich vorgenommen zu untersuchen, ob diese Anomalie in niederen Temperaturen verschwinde. Die in meiner Abhandlung beigebrachten Versuche zeigen, dass sie in der That verschwinden. So fand ich für die D'Arcet'sche Legirung, von 94° C. ausgehend, $c=0,069$, und von 50° ausgehend, $c=0,037$; da das berechnete Mittel $c=0,036$ giebt, so sieht man, dass der Unterschied bis auf ein Geringes verschwindet. Die Hauptschwierigkeit bei diesen Untersuchungen war: die Legirungen bis zu sehr festen, unterhalb 100° C. liegenden Temperaturen zu erwärmen. Ich wandte zu dem Ende einen sehr einfachen, in meiner Abhandlung abgebildeten Darrofen an.

Nach Aufhellung dieses Punktes zeige ich, dass der Wärmeüberschuss, welchen man bei dieser Legirung nahe an ihrem Schmelzpunkt beobachtet hat, nicht von einem anfangenden Schmelzen herrührt, wie man wohl glauben könnte, sondern von einer neuen Art latenter Wärme, deren Entwicklung der folgende Versuch zu verfolgen erlaubt. Ein Glaskügelchen voll der in Rede stehenden Legirung wird solchergestalt isolirt, dass man ihr Erkalten beobachten kann. Es befindet sich zu dem Ende in der Legirung ein Thermometer, dessen Gang man mit einem Fernrohr und einem Chronograph verfolgt. Gesetzt das Kügelchen enthalte 150 Grm. der D'Arcet'schen Legirung; das Thermometer, welches, als die Legirung flüssig war, gegen 130° C., fünf bis

sechs Secunden gebrauchte, um einen Grad zu fallen, braucht mehr als vier hundert, um die beiden Grade zwischen 96° und 94° zu durchsinken. Dies ist ganz einfach: die latente Wärme entweicht innerhalb dieser Zeit. Nach vollendeter Erstarrung nimmt das Thermometer wieder einen regelmäfsigen Gang an, sinkt, bis gegen 57° C., um einen Grad in 10 bis 12 Secunden; allein nun bleibt es mit einem Male stehen und steigt selbst um 1 bis 2 Grad. Zu gleicher Zeit berstet das Kugelchen wegen bedeutender Ausdehnung der ganzen Masse, einer Ausdehnung, die nach der Erkaltung anhält, so dass das Thermometer, welches anfangs stark eingezwängt (*serré*) war, jetzt frei und beweglich ist.

Es findet also hier in der Constitution der Legirung eine Veränderung statt, und die dabei sich entwickelnde Wärme ist so groß, dass sie das Thermometer mehr als vier hundert Secunden lang zwischen 58° und 56° hält, während es sogleich um 1° in 10 bis 12 Secunden fiel. Die Wärmeentwicklung fährt also sehr lange fort; den Beweis giebt die außerordentliche Langsamkeit der Erkaltung.

Um die Wärme zu messen, wandte ich ein Verfahren an, dessen Rudberg sich bei einer anderen Gelegenheit bedient hat; allein ich wandte es neben einer Controle an, die denselben, glaube ich, die Unsicherheit nimmt, welche ihm Hr. Despretz vorwarf. Ich verfolge das Erkalten der Legirung und das eines anderen Körpers, der möglichst identisch ist und sich unter gleichen Umständen befindet, vergleichend mit dem Chronograph. Da die von diesem Körper bei jedem Grad verlorne Wärme bekannt ist, so habe ich schon angenähert die, welche die Legirung verliert. Allein überdies messe ich mit dem Calorimeter, was die Legirung zwischen dieser und jener Temperatur verliert, und es muss mir also die Messung durch Erkaltung dieselben Zahlen geben. Ich habe also, wie gesagt, ein Mittel der Controle und der Correction. Die sonach berichtigte Erkaltungstafel giebt die von der Legirung in jedem Augenblick verlorene Wärme; man verfolgt dadurch

alle Veränderungen, welche ihr in der specifischen Wärme überkommen; die latente Schmelzwärme, so wie die aus der Constitutions-Aenderung entspringende, findet sich dadurch gemessen; die letztere beträgt für die D'Arcet'sche Legirung etwa drei Wärmeeinheiten.

Eine andere Art zur Messung derselben ist zwar weniger genau, führt aber zu einem sonderbaren Resultat. Nachdem ich die Legirung geschmolzen habe, lasse ich sie erstarren, und darauf nur bis z. B. 94° C. erkalten, damit die Zersetzungswärme nicht entweiche. Nun tauche ich sie in das Calorimeter und ziehe 7,4 Wärmeeinheiten aus ihr. Dann erhitze ich sie wieder bis 95° , und kann nur noch 5,2 Wärmeeinheiten aus ihr gewinnen, so dass ich zu dem paradoxen Resultat gelange, dass ein und derselbe Körper weniger Wärme enthält, wenn er heißer ist. Der Unterschied von 2,2 Wärmeeinheiten entspringt daraus, dass die wieder bis 95° erwärmte Legirung nur zum Theil die Constitutions-Aenderung erfahren hat.

Wenn man die Legirung, nachdem sie geschmolzen ist, durch Eintauchen in Wasser plötzlich erkalte, und sie herauszieht, sobald man sie anfassen kann, so erwärmt sie sich nach einigen Augenblicken bis zu dem Punkt, dass man sich die Finger verbrennt. Die plötzliche Erkaltung widersetzt sich hier der Constitutions-Aenderung; allein es tritt ein Moment ein, wobei zuletzt die Disposition der Moleküle nicht mehr verträglich ist mit einer so niedrigen Temperatur; alsdann erfolgt eine neue Anordnung. Und weil sie sonach verspätet worden, erzeugt sie sich mit weit grösserer Energie, d. h. in einer viel kürzeren Zeit; man beobachtet nicht allein kein langsames Erkalten, sondern eine Erwärmung, welche die Masse auf 70° C. bringen kann.

Kurz der Wärmetüberschuss, welchen die Legirungen entlassen, wenn sie bis nahe zu ihrem Schmelzpunkt erwärmt worden sind, entspringt nicht aus der latenten Schmelzwärme, und kann auch nicht als bloße specifische Wärme betrachtet werden, sondern er röhrt grösstentheils von einer Constitutions-Aenderung her, welche in einer vollstän-

dig erstarrten Legirung, und zwar unterhalb ihres Schmelzpunkts eintreten kann.

XV. Ueber die diamagnetische Polarität;
von J. C. Poggendorff.

(Vorgetragen in der K. Academie am 16. Dec. 1847.)

Im vorigen Hefte dieser Annalen (S. 241) hat Hr. Professor Weber durch eine Reihe feiner Messungen dargethan, dass das Verhalten diamagnetischer Körper in der Nähe kräftiger Magnete auf einer ihnen von diesen eingeprägten, der magnetischen geradezu entgegengesetzten Polarität beruht, und darauf gestützt, hat er die Ansicht ausgesprochen, dass diese Polarität aus elektrischen, nach den bekannten Inductionsgesetzen hervorgerufenen Molecularströmen entspringe, — eine Ansicht, die zwar schon beiäufig von Faraday geäusserd, aber nicht festgehalten und ausgebildet, sondern gegen die von einer indifferenten Repulsion vertauscht worden ist, wohl hauptsächlich deshalb, weil eine Kugel, so gut wie ein Stab aus Wismuth, der magnetischen Abstosung unterliegt, und weil andererseits zwei Wismuthstäbe, die gleichzeitig dem Einfluss eines kräftigen Magnets ausgesetzt sind, keine bisher nachweisbare Wirkung aufeinander üben.

Die Wichtigkeit der Frage, ob die Erscheinungen, welche die frei neben einem Magnet aufgehängten diamagnetischen Körper darbieten, auf einer indifferenten oder einer polaren Abstosung beruhen, gab Veranlassung mich zu bemühen, das vom Prof. Weber gewonnene Resultat wo möglich ohne Messungen, durch einen einfachen, augenfällig überzeugenden Versuch zu erlangen. Und dieses ist mir in der That vollkommen gelungen, sogar auf zweifache Weise.

Das erste Verfahren besteht darin, dass man einem Wis-

muthstäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol, eines kräftigen Elektromagnets an einem Conconfaden in aequatorialer Lage hängt, von derselben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagnets nähert. Bei einiger sich leicht ergebender Vorsicht kann man dann deutlich sehen, dass die dem elektromagnetischen Pol zugewandte Seite des Stäbchens vom Stahlmagnet angezogen wird ¹⁾). Es ist gut, den Versuch an der vom Südpol des Elektromagnets abgewandten Seite anzustellen, damit dieser Pol den Pol des Stahlmagnets nicht schwäche oder gar umkehre. Statt des Stahlmagnets könnte man natürlich auch und wohl gar mit Vortheil einen kleinen Elektromagnet anwenden.

Noch überzeugender ist das zweite Verfahren, welches von dem ersten darin abweicht, dass man den Stahlmagnet durch einen galvanischen Strom ersetzt. Das Wismuthstäbchen wird zu dem Ende zwischen beiden Polen des Elektromagnets aufgehängt, und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, dessen Windungen das Stäbchen, bei seiner aequatorialen Stellung, rechtwinklich umgeben würden. Ein Strom, der, ohne dass man den Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt hat, durch dieses Drahtgewinde geleitet wird, wirkt nicht auf den Wismuthstab; so wie aber der Elektromagnet zur Wirksamkeit gelangt ist und den Stab in aequatoriale Lage gebracht hat, kann man letzteren durch den Strom aus dieser Lage ablenken, rechts und links, je nach der Richtung des Stroms, und zwar immer in dem Sinn, wie die Ablenkung erfolgen muss, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen besitzen. Die Wirkung ist im Ganzen schwach, aber

1) Ähnlich, aber freilich umgekehrt, verhält es sich mit Eisen. Hängt man einen Eisenstab über einen starken Magnet auf, so wird das z. B. über dem Nordpol schwebende Ende südpolar; nähert man nun diesem Ende den Südpol eines schwächeren Magnets, so stößt er dasselbe ab, während er es angezogen haben würde, wenn der starke Nordpol nicht vorhanden gewesen wäre. Der starke Magnetpol ruft in dem Eisenstab die magnetische Vertheilung hervor, der schwache wirkt auf diese, ohne wesentlich eine entgegengesetzte zu veranlassen.

unverkennbar. Am besten tritt sie hervor, wenn man den ablenkenden Strom pausenweise mehrmals hinter einander wirken lässt, entweder in Uebereinstimmung oder in Widerspruch mit den kleinen zufälligen Schwingungen, welche der Stab schon besitzt. Man kann dann, nach Belieben, diese Schwingungen vergrößern oder vollkommen aufheben. Eben so verhält es sich mit Antimon und Phosphor.

Ein in aequatorialer Lage zwischen kräftigen Magnetpolen schwebender Stab von Wismuth oder ähnlichem Material ist also wirklich *transversal-magnetisch*, aber freilich im umgekehrten Sinn, wie der verewigte Seebeck es sich dachte.

Der angewandte Elektromagnet ist nur klein, ein runder, etwa 20 Millimet. dicker und 350 Millimet. langer, hufeisenförmig gebogener Eisenstab, dessen Schenkel 50 Millimet. auseinanderstehen und mit vier Pfund Kupferdraht von 1,8 Millimet. Dicke auf aufgeschlitzten Messinghülsen zweckmäßig umwickelt sind. Zu obigen Versuchen war er durch eine Batterie von drei meiner kleinen Grove'schen Bechern angeregt, während ein vierter Becher der Art den Strom für das Drahtgewinde lieferte. Wie leicht ersichtlich, muss zwischen den beiden Kräften, nämlich der starken magnetischen, welche die diamagnetische Polarität hervorruft, und der galvanischen (oder schwachen magnetischen), die auf den polaren Stab ablenkend wirken soll, ein gewisses Verhältniss bestehen. Je größer die erste, je größer muss auch die letztere seyn.

Prof. Weber wurde zu seinen Untersuchungen hauptsächlich durch die Erfahrung des Prof. Reich geleitet, dass ungleichnamige Magnetpole, von derselben Seite her einem aufgehängten Wismuthstäbchen genähert, nicht mit der Summe, sondern mit der Differenz ihrer Kräfte auf dasselbe wirken. Eine ähnliche Beobachtung hatte ich bereits früher gemacht. Wenn beide Pole eines Magnets indifferent auf einen Wismuthstab abstosend wirken, schloß ich, so ist kein Grund vorhanden, warum ein Magnet nur gerade mit seinen Polen auf denselben wirken soll; er muss

mit seinem Indifferenzpunkt dieselbe, wo nicht gar eine stärkere Wirkung ausüben. Als ich indes ein Wismuthstäbchen neben der Biegung meines Elektromagnets aufhing und diesen in Thätigkeit versetze, konnte ich nicht die allergeringste Wirkung wahrnehmen.

Zum Trost für alle Diejenigen, welche nicht im Stande sind sich *so* riesenhafte Beobachtungsmittel anzuschaffen, wie dem berühmten englischen Physiker zu Gebote standen, will ich hier die Bemerkung hinzufügen, dass man, wenn auch nicht alle, doch schon sehr viele der hauptsächlichsten Erscheinungen des neuen von ihm entdeckten Gebiets der Wissenschaft mit dem vorhin erwähnten Elektromagnet recht deutlich beobachten kann.

Ich rechne dahin den Magnetismus des Platins, Palladiums und Titans, den der Lösungen von Eisen, Nickel und Kobalt, den des gewöhnlichen Papiers, Holzes u. s. w.; die Inductionsströme in Stäben von Kupfer, Silber u. s. w. beim Eintreten und Aufhören der Thätigkeit des Elektromagnets;

den Diamagnetismus des Wismuths, Antimons, Phosphors, Kupfers, Silbers, Zinns, Steinsalzes, Elfenbeins, Schelacks, Glases und vieler ähnlichen Substanzen;

den scheinbaren Diamagnetismus einer mit Nickel- oder Kobaltlösung gefüllten Glasmöhre in Eisenlösung;

endlich den von Prof. Plücker entdeckten Diamagnetismus der Krystalle und ähnlicher mit Gefüge versehener Körper, wenigstens an einer der Axe parallelen Kalkspathplatte und an Kugelchen aus Sonnenblumenmark.

Zu einigen dieser Erscheinungen braucht der Elektromagnet nur durch eine einzige Grove'sche Kette erregt zu werden, zu anderen sind deren drei oder vier erforderlich. Bei so schwachen Beobachtungsmitteln finde ich es besonders vortheilhaft, bloß einen der Pole des Elektromagnets anzuwenden (für welchen Fall es auch gut ist, die ganze zur Verfügung stehende Drahtmasse auf den einen Schenkel zu

wickeln) und die zu prüfenden Substanzen neben demselben aufzuhängen. Bringt man sie dann bei Erregung des Elektromagnets auch nicht gerade in eine aequatoriale Stellung, so sieht man doch sehr deutlich, welche abgestoßen und welche angezogen werden, besonders wenn man das Ganze zur Abhaltung von Luftzug in ein Glasgehäuse gebracht hat, welches, der leichteren Manipulation wegen, an der rechten und linken Seite mit einer Thür versehen ist, und oben einen (auch horizontal) verschiebbaren Aufhängungsapparat besitzt.

XVI. Ueber das mechanische Aequivalent der Wärme, bestimmt durch die Wärme-Erregung bei Reibung von Flüssigkeiten; von J. P. Joule, Secretair der *Literary and Philosoph. Society* in Manchester.

(*Phil. Mag.* (1847) Vol. XXXI, p. 173).

In dem *Phil. Magaz.* für Sept. 1845 gab ich einen kurzen Bericht von Versuchen, die ich der britischen Naturforscher-Versammlung zu Cambridge vorgetragen hatte, und durch welche ich gezeigt, dass bei Reibung des Wassers, erzeugt durch die Bewegung eines horizontalen Schaufelrades, Wärme erregt werde. Diese Versuche, obwohl völlig hinreichend die Aequivalenz der Wärme zu mechanischer Kraft darzuthun, waren nicht geeignet das Aequivalent mit großer Genauigkeit numerisch festzusetzen, da der Apparat in freier Luft aufgestellt und folglich deren abkühlenden Wirkung ausgesetzt war. Ich habe nun die Versuche unter günstigeren Bedingungen und mit einem genaueren Apparat wiederholt.

An dem messingenen Schaufelrad hatte ich ein messinges Rahmenwerk angebracht, welches der Flüssigkeit hinreichenden Widerstand darbot, um sie am Herumwirbeln zu hindern. Dadurch war der Widerstand der Flüssigkeit ge-

gen die Schaufeln sehr beträchtlich gemacht, ohne daß ein Plantschen erfolgte. Die angewandte Kanne (*can*) war von Kupfer, umgeben von einer Hülle aus dünnem Zinn. Sie war verschlossen durch einen zinnernen Deckel mit einem geräumigen Loche zur Durchlassung der Axe des Rades und zur Einfügung eines empfindlichen Thermometers. Die Bewegung wurde dem Rade mitgetheilt durch eine auf der Axe sitzende Trommel, um welche eine Schnur gewickelt war, durch die, mittelst empfindlicher Rollen, zwei Gewichte, jedes von 29 Pfund, zu der Höhe von $5\frac{1}{4}$ Fuß gehoben werden konnten. Wenn die Gewichte mittelst Drehung des Rades diesen Raum durchfallen hatten, wurde die Trommel abgenommen, die Schnur wieder aufgewickelt und die Operation wiederholt. Nachdem dies zwanzig Mal geschehen, wurde die Temperaturerhöhung bestimmt. In der zweiten Spalte der folgenden Tafel ist der ganze Raum, den die Gewichte bei den verschiedenen Versuchen durchfielen, in Zollen angegeben. Ich bemerke auch, daß sowohl die Versuche über die Reibung des Wassers, als die über die Interpolationen, zur Ermittlung des Effects der umgebenden Atmosphäre, unter ähnlichen Umständen angestellt wurden, ein jeder 40 Minuten dauerte.

Rei-

Reibung von Wasser.

Art des Versuchs.	Gesammt- er Fall eines jed. Gewichts von 29 Pfd. in Zollen.	Mittel- tempera- tur des Zimmers.	Unter- schied.	Temperatur des Wassers		Gewinn oder Verlust an Wärme.	
				vor dem Versuch.	nach dem Versuch.		
Reibung	1268,5	60°,839	0°,040	—	60°,452	61°,145	0°,693 G.
Interpolat.	0	61°,282	0°,120	—	61°,145	61°,180	0°,035 G.
Reibung	1266,1	61°,007	0°,408	+	61°,083	61°,748	0°,665 G.
Interpolat.	0	61°,170	0°,570	+	61°,752	61°,729	0°,023 V.
Reibung	1265,8	57°,921	0°,809	—	56°,752	54°,472	0°,720 G.
Interpolat.	0	58°,119	0°,628	—	57°,472	57°,511	0°,039 G.
Reibung	1265,4	58°,152	0°,293	—	57°,511	58°,207	0°,696 G.
Interpolat.	0	58°,210	0°,003	+	58°,207	58°,219	0°,012 G.
Reibung	1265,1	57°,860	0°,215	+	57°,735	58°,416	0°,681 G.
Interpolat.	0	58°,162	0°,256	+	58°,416	58°,420	0°,004 G.
Reibung	1265,3	57°,163	0°,220	—	57°,050	57°,716	0°,666 G.
Interpolat.	0	57°,602	0°,121	+	57°,716	57°,731	0°,015 G.
Reibung	1265,2	57°,703	0°,359	+	57°,731	58°,393	0°,662 G.
Interpolat.	0	58°,091	0°,304	+	58°,393	58°,397	0°,004 G.
Reibung	1262,4	56°,256	0°,015	—	55°,901	58°,582	0°,681 G.
Interpolat.	0	56°,888	0°,285	—	56°,590	56°,617	0°,027 G.
Reibung	1262,3	57°,041	0°,078	—	56°,617	57°,310	0°,693 G.
Interpolat.	0	57°,612	0°,285	—	57°,310	57°,344	0°,034 G.
Mittl. Reib.	1265,13		0°,0037 —				0°,6841 G.
Mittl. Interp.	0		0°,0071 —				0°,0163 G.
Berichtigtes Resultat	1265,13						0°,6680 G.

Wir sehen also, dass die Gewichte von 29 Pfund, indem sie eine Höhe von 1265,13 Zoll durchfallen, 0°,668 im Apparat erzeugen. Zur Reduction dieser Größen ist es nöthig, erstlich die Reibung der Rollen und der Schnur beim Abwickeln von der Trommel zu ermitteln. Dies geschah, indem man die Schnur einmal um eine auf feinen Spitzen gehende Walze von gleichem Durchmesser wie die Trommel schlang, und die beiden Enden derselben über die Rollen gehen ließ. Dadurch fand sich, dass 3150 Gran, zu einem der beiden Gewichte hinzugefügt, die Reibung gerade überwältigten. Die bei diesen Versuchen wirklich angewandte Kraft wäre daher 406000 Gran. — 3150 Gran = 402850 Gran bei 1265,13 Zoll Fallhöhe, oder 6067,3 Pfund bei einem Fuss.

Das Wasser wog 77617 Gran, das messingene Schau-

felrad 24800 Gran, die kupferne Kanne 11237 Gran, und die zinnerne Hülle 19396 Gran. Die gesammte Wärmecapacität des Gefäßes mit seinem Inhalt ward geschützt auf $77617 + 2319 + 1056 + 363 = 81355$ Gran Wasser. Deshalb beträgt die bei diesen Versuchen entwickelte Wärme, bezogen auf 1 Pfund Wasser, $7^{\circ},7636$. Das Aequivalent eines (Fahrenheit'schen) Grades Wärme in einem Pfund (engl.) Wasser fand sich also gleich 781,5 Pfund (engl.) gehoben um einen Fuß (engl.).

Ich machte nun eine Reihe von Versuchen mit Wallrathöl. Diese Flüssigkeit wird von den Ingenieuren als die beste zur Verminderung der Reibung in Maschinen betrachtet, und schien mir daher wohl geeignet, einen anderen und selbst entscheidenderen Beweis über die aufgestellten Grundsätze zu liefern.

Reibung von Wallrathöl (Sperm. Oil).

Art des Versuchs.	Fallhöhe ein. jeden Gewichts von 29 Pfund in Zollen.	Mittel-temperatur des Zimmers.	Unter-schied.	Temperatur des Oels.		Gewinn oder Verlust an Wärme.
				vor dem Versuch.	nach	
Reibung	1263,8	56°,677	0°,453 +	56°,354	57°,906	1°,552 G.
Interpolat.	0	57°,316	0°,595 +	57°,906	57°,917	0°,011 G.
Reibung	1269,0	56°,198	1°,024 +	56°,516	57°,929	1°,413 G.
Interpolat.	0	56°,661	1°,221 +	57°,929	57°,836	0°,093 V.
Reibung	1268,7	57°,958	0°,588 +	57°,813	59°,280	1°,467 G.
Interpolat.	0	57°,051	0°,773 +	57°,836	57°,813	0°,023 V.
Reibung	1268,5	58°,543	1°,685 +	55°,951	57°,766	1°,815 G.
Interpolat.	0	57°,153	1°,504 -	55°,568	55°,731	0°,163 G.
Reibung	1268,1	59°,097	0°,534 -	57°,766	59°,361	1°,595 G.
Interpolat.	0	57°,768	1°,927 -	55°,731	55°,951	0°,220 G.
Reibung	1268,3	56°,987	0°,186 -	56°,029	57°,573	1°,544 G.
Interpolat.	0	57°,156	0°,413 +	57°,573	57°,565	0°,008 V.
Reibung	1268,7	57°,574	0°,734 +	57°,581	59°,036	1°,455 G.
Interpolat.	0	57°,336	0°,237 +	57°,565	57°,581	0°,016 G.
Reibung	1267,6	58°,537	0°,829 +	56°,884	58°,532	1°,648 G.
Interpolat.	0	59°,641	0°,364 +	60°,026	59°,984	0°,042 V.
Reibung	1268,0	59°,131	0°,148 +	58°,532	60°,026	1°,494 G.
Interpolat.	0	60°,164	0°,138 -	59°,984	60°,069	0°,085 G.
Mittl. Reib.	1267,85		0°,034 +			1°,5537 G.
Mittl. Interp.	0		0,004 +			0°,0366 G.
Berichtigtes Resultat	1267,85					1°,5138 G.

Die angewandte Kraft berichtigt wie zuvor, wegen Reibung der Rollen, war hier gleich 6080,4 Pfund gehoben einen Fuß. Zur Bestimmung der Wärmecapacität des Apparats war es nöthig die des angewandten Wallrathöls zu ermitteln. Es wurde zu dem Ende die Mischungsmethode angewandt. 43750 Gran Wasser wurden in einem 10403 Gran wiegenden Kupfergefäß bis $82^{\circ},697$ erwärmt, und dann 28,597 Gran des Oels von $55^{\circ},593$ zugesetzt. Nach dem Umrühren fand sich die Temperatur des Gemenges $76^{\circ},583$. Nach erforderlicher Berichtigung wegen der Erkaltung der Flüssigkeiten beim Versuch und wegen der Capacität des Gefäßes ergab sich hieraus die specifische Wärme des Wallrathöls zu 0,45561. Ein anderer Versuch, bei der nur das Wasser in das heiße Oel gegossen wurde, gab 0,46116. Das Mittel hievon ist 0,45838.

Das Gewicht des angewandten Oels betrug 70273 Gran, und da Rad, Kanne etc. dieselben wie beim vorhergehenden Versuch waren, war also die gesammte Capacität in diesem Fall aequivalent der von 35951 Gran Wasser. Reducirt auf die Capacität von einem Pfund Wasser betrug also die entwickelte Wärme $7^{\circ},7747$.

Das aus der Reibung des Wallrathöls abgeleitete Wärmeaequivalent war also = 782,1, fast identisch mit dem aus der Reibung des Wassers erhaltenen. Das Mittel beider Resultate ist 781,8, was ich so lange annehmen werde, bis fernere und genauere Versuche ein besseres Aequivalent geliefert haben werden.

In den *Compt. rend.*, T. XXV, p. 309, hat Hr. Joule auch die Resultate von Versuchen über die Reibung des Quecksilbers mitgetheilt, die hier zugleich eine Stelle finden mögen:

Art des Versuchs.	Kraft, in Grm. 1 Met. fallend.	Temperatur des Laboratoriums.	Unter- schied.	Temp. d. Quecksilb.		Gewinn od. Verl. an Temperatur.
				zu Anfang	am Ende des Versuchs.	
Reibung	716977	15°,300	+0°,426	14°,628	16°,825	2°,197 G.
Interpolat.	0	15°,135	-0°,569	14°,504	14°,628	0°,124 G.
Reibung	715297	16°,001	-0°,042	14°,800	17°,118	2°,318 G.
Interpolat.	0	15°,452	+1°,247	16°,808	16°,590	0°,218 V.
Reibung	715832	15°,792	-0°,369	15°,067	17°,255	2°,188 G.
Interpolat.	0	16°,098	+0°,930	17°,114	16°,942	0°,172 V.
Reibung	713992	15°,548	+0°,329	14°,774	16°,980	2°,206 G.
Interpolat.	0	15°,387	-0°,518	14°,822	14°,917	0°,095 G.
Reibung	714463	14°,684	+0°,628	14°,250	16°,374	2°,124 G.
Interpolat.	0	15°,806	+1°,056	16°,959	16°,765	0°,194 V.
Reibung	714822	14°,869	-0°,007	13°,751	15°,974	2°,223 G.
Interpolat.	0	14°,529	-0°,359	14°,138	14°,203	0°,065 G.
Mittel.						
Reibung	715230		+0,2838			2°,2093 G.
Verlust	0		+0,2978			0°,0500 V.
Berichtigtes Resultat	715230					2°,2568 G.

In dieser Tafel dient jeder, mit *Interpolation* bezeichnete Versuch zur Berichtigung des Einflusses der Luft, indem dabei die Temperatur des Apparats erhöht oder erniedrigt worden ist. Das Gewicht des Quecksilbers im Apparat betrug 13269 Grm., welches, nach den Versuchen des Hrn. Regnault über die specifische Wärme des Quecksilbers, an Wärmecapacität 442,12 Grm. Wasser gleichkommt. Das Gewicht des Eisens betrug 2569 Grm. ¹⁾), und dessen Wärmecapacität würde nach meinen Versuchen 291,31 Grm. Wasser gleich seyn. Die gesamte Wärmecapacität des Apparats war also gleich 733,43 Grm. Wasser. Der Verbrauch einer mechanischen Kraft, geschätzt durch ein Gewicht von 715230 Grm. bei ein Meter Fallhöhe, war demnach begleitet von der Wärmeentwicklung von 2°,2568 C. in 733,43 Grm. Wasser. Die Wärme also, welche die Temperatur von *einem* Grm. Wasser um *einen* Centigrad zu erhöhen vermag, ist gleich der mechanischen Kraft, die im Stande ist ein Gewicht von 432,1 Grm. ein Meter zu heben.

1) Gefäß und Schaufelrad waren nämlich hier von Eisen.

**XVII. Schreiben an Hrn. Dr. C. Brunner Sohn,
in Bern, in Betreff der Versuche des Hrn. Dr.
Buys-Ballot über den Einfluss der Tempe-
ratur auf die Synaphie; von R. Merian.**

Basel, 31. Juli 1847.

Als ich neulich den Aufsatz vom Dr. Buys-Ballot¹⁾ »über den Einfluss der Temperatur auf die Synaphie« las, worin er seine mit Adhäsionsplatten erhaltenen Resultate mit den Ihrigen vergleicht, fiel es mir auf, dass er bei den aus seinen Versuchen berechneten Werthen von a^2 ($=A-Bt$) die Constante A sehr nahe gleich wie Sie erhalten hat, nämlich 15,3 . . . für Wasser (S. 189 und 191), den Coëfficienten B dagegen fast doppelt so gross (0,047 und 0,048 statt 0,028). Ich fand mich dadurch veranlaßt, den Gang seiner Berechnungen etwas genauer zu verfolgen, um zu sehen, ob sich nicht etwa aus seinen Versuchen eine grössere Uebereinstimmung auch für B herausfinden ließe. Ich habe nun zwar gerade das Gegentheil gefunden, nämlich dass Hr. Buys-Ballot seine Werthe von a^2 sehr ungenau berechnet hat, und dass sie, richtig berechnet, nicht so gut mit den Ihrigen übereinstimmen als er geglaubt hat, theile Ihnen aber dennoch das Resultat mit, da es Sie vielleicht interessiren dürfte.

In wie fern die von Hrn. B. B. angewandte Methode geeignet ist genaue Resultate zu geben, darüber erlaube ich mir kein Urtheil; die von ihm beobachteten Werthe sprechen jedoch nicht sehr dafür. In der Reihe auf S. 183 z. B. erhält man für p zwischen 72° und 70° eine Gewichtszunahme von 0,115 Grm. per Grad und zwischen 37° und 36° von 0,09 Grm.; dagegen zwischen 69° und 57° nur von 0,013, zwischen 57° und 45° gar nur von 0,0025 Grm., d. h. nur $\frac{1}{4}$ vom ersten Werthe, während sie eigentlich

1) Poggend. Annalen, Bd. 71, S. 177 u. f.; damit zu vergleichen die Abhandl. von C. Brunner, Poggend. Annalen, Bd. 70, S. 481 u. f.

gleich seyn sollten. Aehnliches in den andern Versuchsreihen, z. B. auf S. 184 die Werthe für 192° und 190° , 146° und 134° . Auch stimmen zum Theil die Formeln für p , namentlich die für schwefelsaures Natron auf S. 184, schlecht mit den beobachteten Werthen überein.

Der Haupteinwurf aber, den ich gegen den Aufsatz von Hrn. Buys-Ballot zu machen habe, ist gegen seine Berechnung von a^2 aus p gerichtet; er glaubt nämlich durch seine neue Berechnungsweise (S. 188) eine gröfsere Ueber-einstimmung von a^2 mit Ihren Werthen gefunden zu haben (in den Decimalen nämlich, denn die ganzen Zahlen stimmten schon nach der früheren Berechnung überein), hat aber dabei Ausdrücke vernachlässigt, die auf die erste Decimale influiren. Er vernachlässigt zuerst (S. 188 Z. 10)

das Quadrat $\left(\frac{\pi a^2 r}{3(\alpha - \beta t)}\right)^2$, weiter (Z. 12) gar das Glied

$\frac{2\pi a^2 r}{3\alpha}$ (denn es ist $P = \alpha$). Nun ist aber $\frac{\pi a^2 r}{3\alpha}$ ungefähr gleich 0,03, also der erste dieser Ausdrücke = 0,0009, der zweite = 0,06; also mit dem Werthe von a^2 (= 15, ...) vervielfacht, betragen diese vernachlässigten Glieder 0,013 .. und 0,9 .., d. h. im letzteren Falle beinahe 1. Allerdings waren diese Vernachlässigungen sehr bequem, um die Rechnung abzukürzen; da aber Hr. B. B. auf Richtigkeit wenigstens der ersten Decimale Anspruch macht, durfte er sich dieses nicht erlauben.

Bevor ich nun a^2 genauer berechne, muss ich noch zwei sehr störende Fehler berichtigen, die jedoch wohl nur Druckfehler sind. In der Tafel auf S. 183 sollte Gramm statt Gran stehen, wie aus dem Werthe von a^2 und der Poisson'schen Formel sich ergiebt. Ferner muss es auf S. 188 (Z. 17 und 19) $a^2 = \frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2}$ und $A = \frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2}$ heißen, beidemal statt $= \frac{\alpha}{2\pi r^2}$; Hr. B. B. scheint jedoch bei der Berechnung von A den ersten, richtigen Ausdruck zu Grunde gelegt zu haben.

Berechnen wir a^2 nach der auch von Hrn. Buys-Ballot angewandten Poisson'schen Formel ¹⁾:

$$p = \pi \mu \left(a r^2 \sqrt{2} - \frac{a^2 r}{3} \right),$$

wobei nach Poisson a und r in Centimetern auszudrücken,

1) Poisson, *nouvelle théorie de l'action capillaire*, p. 233.

μ das Gewicht eines Kubikcentimeters der angewandten Flüssigkeit, oder in Grammen ausgedrückt das spec. Gewicht ist. Da wir in unserem Falle Millimeter haben, müssen wir für μ auch nur das Gewicht eines Kubikmillimeters, also μ 1000 Mal kleiner oder $\frac{p}{\mu}$ 1000 Mal größer nehmen, wie schon die Homogenität der Formel es verlangt.

Setzen wir $\frac{p}{\mu} = P$, so erhalten wir die Gleichung:

$$a^2 - 3ar\sqrt{2} + \frac{3P}{\pi r} = 0,$$

woraus:

$$a = \frac{3}{2}r\sqrt{2} \pm \sqrt{\frac{3}{2}r^2 - \frac{3P}{\pi r}}$$

oder:

$$a = \frac{3}{2}r\sqrt{2} \pm \frac{3}{2}r\sqrt{2} \left(1 - \frac{2P}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}},$$

und:

$$a^2 = \frac{9}{4}r^2 \left\{1 \pm \left(1 - \frac{2P}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}^2$$

$$= 9r^2 \left\{1 - \frac{P}{3\pi r^3} \pm \left(1 - \frac{2P}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}.$$

Da der Ausdruck für a^2 offenbar kein nur von r und nicht zugleich von P abhängiges Glied enthalten darf, müssen wir von den beiden Zeichen das untere nehmen, damit, bei Entwicklung der Wurzelgrößen in eine Reihe, die von P unabhängigen Glieder sich aufheben. Setzen wir nun für P oder $\frac{p}{\mu}$ seinen Werth $\alpha - \beta t$, so ist:

$$a^2 = 9r^2 \left\{1 - \frac{\alpha}{3\pi r^3} + \frac{\beta t}{3\pi r^3} - \left(1 - \frac{2\alpha}{3\pi r^3} + \frac{2\beta t}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}.$$

Setzen wir $a^2 = A - Bt$, so erhalten wir für $t=0$:

$$A = 9r^2 \left(1 - \frac{\alpha}{3\pi r^3} - \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{3\pi r^3}}\right),$$

ferner, wenn wir die Wurzelgrößen im Ausdruck von a^2 nach dem binomischen Lehrsatz entwickeln und dabei die höheren Potenzen von t vernachlässigen, was wohl erlaubt ist, da sie mit höheren Potenzen von $\frac{2\beta}{3\pi r^3}$ (d. i. ungefähr $\frac{1}{6000}$) vervielfacht sind, so erhalten wir:

$$B = 9r^2 \left(-\frac{\beta}{3\pi r^3} + \frac{\beta}{3\pi r^3 \left(1 - \frac{2\alpha}{3\pi r^3}\right)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$= \frac{3\beta}{\pi r} \left\{\left(1 - \frac{2\alpha}{3\pi r^3}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1\right\}.$$

Mit Hülfe dieser Ausdrücke erhalten wir nun, wenn wir für α und β die Werthe von Hrn. Buys-Ballot aus Formel I (S. 188) zu Grunde legen, nämlich:

$$\alpha = 13807,4 \quad \beta = 20,628 \quad \text{und} \quad \pi r^2 = 2463$$

$$\alpha^2 = 16,8574 - 0,052243 t.$$

Aus den Werthen von α und β aus Formel II (S. 188):

$$\alpha = 13667 \quad \beta = 21,264 \quad \text{und} \quad \pi r^2 = 2500$$

folgt:

$$\alpha^2 = 15,9948 - 0,051556 t \quad ^1).$$

Entwickeln wir in den Ausdrücken von A und B die Wurzelgrößen in Reihen nach dem binomischen Lehrsatz, so erhalten wir die Reihen:

$$A = 9r^2 \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{3\pi r^3} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{3\pi r^3} \right)^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{3\pi r^3} \right)^4 + \dots \right\}$$

$$B = \frac{3\beta}{\pi r} \left\{ \frac{\alpha}{3\pi r^3} + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{3\pi r^3} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{3\pi r^3} \right)^3 + \dots \right\}$$

Die Werthe von Hrn. Buys-Ballot $A = \frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2}$

und $B = \frac{\alpha\beta}{(\pi r^2)^2}$ sind offenbar nur die ersten Glieder dieser Reihen; dass man aber die folgenden nicht vernachlässigen dürfe, zeigt die Abweichung unserer Werthe von α^2 von den Buys-Ballo'schen.

Ich glaube damit ziemlich klar dargethan zu haben, dass erstens die von Hrn. B. B. angewandte Methode keine sehr übereinstimmenden Beobachtungswerte liefert hat, und zweitens dass, wenn man α^2 aus seinen Werthen von p richtig berechnet, die Uebereinstimmung mit den Brunner'schen u. a. Werthen von α^2 weniger gut ist, als Hrn. Buys-Ballot zu finden geglaubt hat (nach Brunner ist für Wasser $\alpha^2 = 15,3321 - 0,028639 t$); der Werth von B namentlich ist bei Hrn. Buys-Ballot immer noch fast doppelt so groß wie bei Ihnen.

1) Hrn. Buys-Ballot berechnete aus den obigen Daten mit Hülfe seiner Formeln $A = \frac{\alpha^2}{2(\pi r^2)^2}$ und $B = \frac{\alpha\beta}{(\pi r^2)^2}$ die Werthe von α^2 (S. 188)

$$\text{I. } \alpha^2 = 15,2515 - 0,045573 t$$

$$\text{II. } \alpha^2 = 15,395 - 0,04773 t.$$

Ich begreife übrigens nicht, wie er zu diesen Werthen von α^2 gekommen, denn wenn ich aus den gleichen Daten nach den gleichen Formeln α^2 berechne, finde ich:

$$\text{I. } \alpha^2 = 15,7132 - 0,046951 t$$

$$\text{II. } \alpha^2 = 14,9429 - 0,046498 t.$$